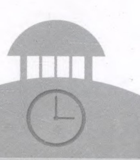
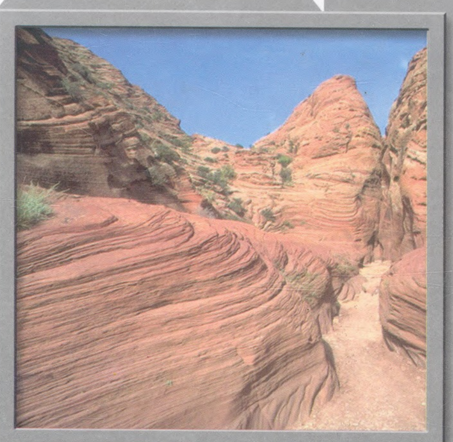
سلسلة الفكر العربى لمراجع العلوم الأساسية

٢٩

الچيولوچيا
الفيزيقية والتاريخية

الدكتور
حافظ شمس الدين عبد الوهاب





دار الفكر العربى

سلسلة الفكر العربي
لمراجع العلوم الأساسية
-٢٩-

الچيولوچيا

الفيزيقية والتاريخية

ترجمة

الدكتور حافظ شمس الدين عبد الوهاب

أستاذ الجيولوجيا بكلية العلوم جامعة عين شمس

عضو المجمع العلمي المصري

خبير مجمع اللغة العربية

زميل جامعه بسلفانيا بالولايات المتحدة الأمريكية

الطبعة الأولى
١٤٢٧هـ/ ٢٠٠٦م

ملتزم الطبع والنشر
دار الفكر العربي
٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥
١٦ أشارع جواد حسني - ت: ٣٩٣.١٦٧
www.darelfikrelarabi.com
INFO@darelfikrelarabi.com

هذه ترجمة لكتاب

GEOLOGY

Made Simple

تأليف

WILLIAM MATTHEWS

HEINEMANN : LONDON (1993).

ترجمة

الدكتور حافظ شمس الدين عبد الوهاب

أستاذ الجيولوجيا بكلية العلوم جامعة عين شمس

مراجعة

الدكتور محمد يوسف حسن

أستاذ الجيولوجيا بكلية العلوم جامعة عين شمس

عضو مجمع اللغة العربية

٥٥١,١	حافظ شمس الدين عبد الوهاب، مترجم.
ح ا ج ى	الجيولوجيا الفيزيقية والتاريخية = Geology madesimple [تأليف] William Matthews؛ ترجمة حافظ شمس الدين عبد الوهاب؛ [مراجعة] محمد يوسف حسن.- القاهرة: دار الفكر العربي، ٢٠٠٦م.
	٥٧٩ ص ؛ إيض ٢٤سم. - (سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية؛).
	ببليوجرافية: ص [٥٦٩] - ٥٧٧.
	يشتمل على ملاحق وكشاف.
	يشتمل على معجم المصطلحات الجيولوجية المستعملة فى الكتاب.
	تدمك : ٦ -٢٠٥٣ - ١٠ - ٩٧٧.
	١- الجيولوجيا الفيزيقية. ٢- الجيولوجيا التاريخية.
	أ- محمد يوسف حسن، مراجع. ب - العنوان .
	جـ - السلسلة.

جمع إلكترونى وطباعة



تصميم وإخراج فنى

ثريا إبراهيم حسين

رقم الإيداع ٣٤٢٦ / ٢٠٠٦

تقديم السلسلة

الحمد لله رب العالمين.. خلق الإنسان، علّمه البيان،

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد النبى الأمى العربى الصادق الأمين، وعلى آله وصحبه والتابعين بإحسان إلى يوم الدين.

أما بعد،

فإن اللغة - أىّ لغة - هى وسيلة التواصل الفكرى بين أبناء الأمة الواحدة، وهى فى الوقت نفسه تمثل حاجة ملحّة، وضرورة لا غنى عنها لكل أمة تشرع فى النهوض من كبوتها وتسعى إلى اللحاق بركب الحضارة، مؤمنة بالدور الأساسى للعلوم الأساسية والتطبيقية والتقنية فى صنع التقدم والرقى.

هذه الحقيقة التاريخية استوعبها علماء الحضارة العربية الإسلامية عندما ترجموا معارف السابقين إلى اللغة العربية، واستوعبها أيضا الغربيون عندما ترجموا علوم الحضارة العربية الإسلامية فى أوائل عصر النهضة الأوربية الحديثة، وتعيها اليوم كل الأمم التى تدرس العلوم بلغاتها الوطنية، فى سعى حثيث نحو المشاركة الفعالة فى إنتاج المعرفة وتشييد صرح الحضارة المعاصرة.

ولقد أضحى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة من ضرورات النهضة العلمية والتقنية التى تنشدها أمتنا العربية الإسلامية لكى تستأنف مسيرتها الحضارية بلغة القرآن الكريم الذى حفظها قوية حية فى النفوس على الرغم من الوهن الذى أصاب أهلها، وما ذلك إلا لأن الله - سبحانه وتعالى - قد خصّها بصفات تميزها على غيرها، وكفلها بحفظه حين تكفّل بحفظ قرآنه العظيم.

والحديث عن هذه الضرورة الحضارية لتعريب العلم والتعليم قد تجاوز الآن مرحلة الإقناع بالأدلة والبراهين المستقاة من حقائق التاريخ ومعطيات الواقع المعاش، وعليه أن ينتقل إلى مرحلة التخطيط والتنفيذ، وفق أسس وضمانات منهجية مدروسة، وعن طريق آليات ومؤسسات قادرة على إنجاز المشروع الحضارى الكبير؛ ذلك أن اجتياز حالة التخلف العلمى والتقنى التى تعيشها الأمة العربية والإسلامية يجب أن يصبح هدفا عزيزا تُستحث لأجله الهمم، وتستثار العزائم.

و**دار الفكر العربي** - من جانبها - قد استشعرت خطورة تأخير هذا المشروع الحضاري الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت في إعداد **«سلسلة مراجع العلوم الأساسية»** في مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والجيولوجيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم في مراحل العمر المختلفة بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص، في ضوء الأهداف الآتية:

* ربط المادة العلمية بما يدرسه الطلاب في مناهجهم الدراسية، وعرضها على نحو يوافق التصور الإسلامي للمعرفة، ويحقق أهداف وغايات التربية الإسلامية الرشيدة.
* إثراء الثقافة العلمية لدى الطلاب والارتقاء بذوقهم العلمي مع تنمية الجانب التجريبي والتطبيقي لتعويدهم حسن الاستفادة من كل ملكات الفكر والعمل التي وهبها الله - سبحانه وتعالى - للإنسان.
* إبراز الدور الرائد الذي قام به علماء الحضارة العربية الإسلامية - قديما وحديثا - في دفع مسيرة التقدم العلمي.
* تتبع نمو المفاهيم العلمية وصولا إلى أحدث الكشوف والمخترعات، وذلك بهدف غرس منهجية التفكير العلمي لدى الطلاب، وتوسيع مداركهم إلى أبعد من حدود الموضوعات الدراسية المقررة عليهم.
* الالتزام بما أقرته مجامع اللغة العربية من مصطلحات علمية، ويفضل أكثرها شيوعا مع ذكر المقابل الأجنبي.

وقد عهدت **دار الفكر العربي** بالمسئولية العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدارات هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكريها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

﴿رَبَّنَا لا تُزِغْ قُلُوبَنَا بَعْدَ إِذْ هَدَيْتَنَا وَهَبْ لَنَا مِن لَّدُنكَ رَحْمَةً إِنَّكَ أَنتَ الْوَهَّابُ ۝٨﴾ [آل عمران].

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

احمد فؤاد باشا

جميع المراسلات والاتصالات على العنوان التالي:

دار الفكر العربي

سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية

٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

www.darelfikrelarabi.com
INFO@darelfikrelarabi.com

مقدمة

بالرغم من أن دراسة الجيولوچيا تعد من الموضوعات الجديرة بالاهتمام،حيث تتشعب فروعها وتتنوع لتشمل أكثر من عشرين تخصصا، منها على سبيل الذكر الجيولوچيا الاقتصادية وجيولوچيا البترول والزلازل والبراكين وجيولوچيا البيئة والچيولوچيا الطبية وغيرها. إضافة إلى أن علم الچيولوچيا صار مرتبطا بشكل كبير مع علوم الهندسة والتعمير وعلوم الفضاء والمحيطات والاستشعار من بعد والعلوم العسكرية. إلا أنه، ومع الأسف ،لا تضم المكتبة العربية مؤلفات أو كتب مترجمة عن علم الچيولوچيا سوى عدد قليل لا يتجاوز عدد أصابع اليدين، إضافة إلى ذلك فإن هذه الكتب المؤلفة أو المترجمة لا تتضمن إلا موضوعات قليلة معينة، مثل تأليف أو ترجمة كتاب عن علم المعادن أو الحفريات أو الصخور... وهكذا، فلم تعرف المكتبة العربية كتابا مرجعيا متكاملا تقريبا فى علم الچيولوچيا يضم الفروع المتشعبة للچيولوچيا فى مجلد واحد. وكانت أول محاولة لإصدار كتاب مرجعى شامل فى الچيولوچيا، حين قمت بترجمة كتاب Geology, made simple بتكليف من أكاديمية البحث العلمى والتكنولوچيا والذى صدر فى نهاية عام ٢٠٠٢ ليلبى مطلبا ملحا فى المكتبة العربية، وسرعان ما نفدت نسخ الكتاب فى غضون شهرين.

وإذا كانت «دار الفكر العربى» قد أخذت على عاتقها واستمرارا لرسالتها فى إثراء المكتبة العربية بالكتب والمراجع المؤلفة أو المترجمة لفروع العلم وتطبيقاتها، أن تتكفل بإصدار هذا الكتاب فى طبعة جديدة وإصدارة قشيبة، فإنها تكون قد فتحت الطريق لتشجيع إثراء المكتبة العربية بالمراجع والكتب القيمة التى تساعد على تفهم أفضل للعلوم وتطبيقاتها بطريقة ميسرة، وتدفع الهمم بين العلماء للكتابة باللغة العربية تأليفا وترجمة، وخاصة أننا أحوج ما نكون إليها فى هذا الوقت بالذات، الذى تتصارع فيه أمة اللغة العربية مع تحديات كثيرة تحاول بدهاء وسوء قصد طمس الهوية العربية، لكن اللغة العربية باقية بإذن الله وبفضله وبجهود أبنائها الذين يدعمونها ويضيفون إليها ما نضج على صبرهم وجهدهم وحرارة إيمانهم برسالتهم للحفاظ على اللغة العربية شامخة سامقة.

إن باب الترجمة والتأليف باللغة العربية، قد يكون شاقا فى مجال العلوم، لكنه ليس مستعصيا أو مستحيلا. ولا أزعم أننى وجدت الباب مفتوحا لترجمة كتاب مرجعى فى الجيولوجيا من اللغة الإنجليزية إلى اللغة العربية. فالكتاب يضم بين جناحيه قسمين كبيرين هما الجيولوجيا الفيزيقية بكل تشعباتها والجيولوجيا التاريخية بكل أقسامها، بل إننى وجدت الباب مغلقا فعالجته حتى انفتح، وتركته مفتوحا لمن يريد الولوج، وهو لا شك فى حاجة إلى إرادة وهمّة وإيمان بقيمة العمل ومردوده فى دعم مسيرة اللغة العربية وسط هذا البحر العاتى من تغريب اللغة العربية. إن دعم مسيرة تعريب العلم لتوطينه بين أهله يعد واجبا قوميا وضرورة وطنية ملحة، حتى لا تصبح اللغة العربية مغيبة فى أوطانها ومهمشة بين أهلها، وبالرغم من أن المسيرة شاقة وطويلة، لكن أولها خطوة ضيقة لا بد أن تتخذ، والغيث المنهمر يبدأ بقطرة صغيرة.

وهذا الكتاب رغم بساطته فى الأسلوب، إلا أن شموليته سوف تفيد الطالب الجامعى ودارس الجيولوجيا بصفة عامة، أو القارئ الذى يبحث عن الثقافة العلمية الراقية بأسلوب علمى مبسط يسهل استيعابه وهضمه بيسر.

إضافة إلى ذلك فقد زود الكتاب بالرسوم الإيضاحية المبسطة التى تساعد على تفهم الموضوعات أكثر وأكثر. كما زُوِّد بمعجم للمصطلحات الجيولوجية التى وردت فى الكتاب فى الصورة التى أقرها واعتمدها مجمع اللغة العربية بالقاهرة ومجامع اللغة العربية على مستوى العالم العربى كله.

وأود أن أتوجه بالشكر والامتنان للأستاذ الدكتور عبد الحافظ حلمى محمد أستاذ علم الحيوان بكلية العلوم جامعة عين شمس، عضو مجمع اللغة العربية على كريم اقتراحاته فى أثناء الإعداد لطباعة الكتاب.

أرجو أن يعود هذا العمل بالفائدة المرجوّة على كل دارس للجيولوجيا أو قارئ لها باللغة العربية، وأن يكون الله عونا لنا على نشر العلم وتفهمه وتوطينه، وأن يوفق كل جهد مخلص يدعم العلم بلغته العربية مؤلفا أو مترجما، وأرجو الله أن يجعل هذا العمل خالصا لوجهه الكريم، إنه أعظم مسؤول وأكرم مأمول.

والحمد لله رب العالمين،،،

حافظ شمس الدين عبد الوهاب

القاهرة: محرم ١٤٢٧هـ
فبراير ٢٠٠٦م

مترجم الكتاب

الأستاذ الدكتور حافظ شمس الدين عبد الوهاب

أستاذ الجيولوجيا بكلية العلوم جامعة عين شمس

عضو المجمع العلمي المصري

خبير مجمع اللغة العربية

زميل جامعة بنسلفانيا بأميركا

تخرج الدكتور حافظ شمس الدين عبد الوهاب في كلية العلوم وحصل على درجة البكالوريوس في الكيمياء والجيولوجيا بمرتبة الشرف ودرجة الماجستير في العلوم في الجيولوجيا (تخصص معادن وجيوكيمياء) ودكتوراه الفلسفة في الجيولوجيا في الصخور والمعادن. كذلك حصل على دراسات عليا ودبلوم في الجيولوجيا المتقدمة من الكلية الإمبراطورية للعلوم والطب والتكنولوجيا بجامعة لندن بانجلترا، وأيضًا حصل على درجة الزمالة من كلية دراسات البيئة بجامعة بنسلفانيا بالولايات المتحدة الأميركية.

عمل الدكتور حافظ شمس الدين معيدا بجامعة أسيوط ثم انتقل إلى كلية العلوم جامعة عين شمس، حيث عمل معيدًا بها وتدرج في سلك هيئة التدريس حتى رقي إلى درجة أستاذ الجيولوجيا (تخصص جيوكيمياء ومعادن الصخور الرسوبية) حتى الآن.

في خارج مصر، عمل الدكتور حافظ شمس الدين باحثا زائرًا في قسم المعادن بجامعة لوراند أدفوش بجمهورية المجر وفي قسم الرسوبيات بالكلية الإمبراطورية بلندن، وفي قسم الرسوبيات وجيولوجيا البحار بمعهد سمثونيان بواشنطن بأميركا، كذلك عمل أستاذًا محاضرا في معهد علوم الأرض بجامعة الجزائر للعلوم والتكنولوجيا بالجمهورية الجزائرية وأستاذًا محاضرا وزميلا بكلية دراسات البيئة بجامعة بنسلفانيا بالولايات المتحدة الأميركية.

في داخل مصر قام بالتدريس في جامعات عين شمس وأسيوط والمنصورة والمنوفية والزقازيق لطلاب مراحل البكالوريوس والدبلوم العالي والماجستير، إضافة إلى

إشرافه على قسم العلوم الطبيعية والبيولوجية بمعهد الدراسات والبحوث البيئية بجامعة عين شمس وكذا رئاسة شعبة الجيولوجيا بكلية التربية ببنها.

الدكتور حافظ شمس الدين عضو بالمجمع العلمى المصرى وخبير فى مجمع اللغة العربية منذ أكثر من سبع عشرة سنة ويشارك فى تحرير الموسوعات (دوائر المعارف) التى تصدرها الأردن والكويت. وفى داخل مصر شارك فى إصدار أول موسوعة عربية عالمية مؤلفة وكان مديرا لتحريرها، كذلك هو عضو فى اللجنة القومية لتاريخ وفلسفة العلوم بأكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا وعضو فى اللجنة الوطنية لليونسكو. وهو أيضًا عضو فى الجمعية المصرية لتعريب العلوم، ومحكم فى منح جوائز الدولة فى علوم البيئة.

فى مجال البحث العلمى أشرف على ١٨ رسالة لدرجتى الماجستير والدكتوراه فى مجالات الصخور الرسوبية والمعادن المشعة وجيولوجيا المياه والجيوكيمياء وعلوم البيئة والآثار وتكنولوجيا تطبيقات المعادن فى الصناعة، أجيزت جميعها، وقام بتحكيم العديد من رسائل درجتى الماجستير والدكتوراه فى مختلف الجامعات المصرية والعربية، وهو محكم فى العديد من المجلات العلمية العالمية المتخصصة فى الجيولوجيا وعلوم البيئة.

نشر الدكتور حافظ شمس الدين أكثر من ٣٧ بحثًا علميًا فى مجالات الجيولوجيا المختلفة نشرت فى مجلات علمية عالمية تصدر فى الولايات المتحدة الأميركية وإنجلترا والنمسا وسويسرا والمجر وفرنسا وإيطاليا وكندا ومصر وهو عضو فى العديد من الجمعيات العلمية فى مصر وإنجلترا والولايات المتحدة الأميركية.

إضافة إلى ذلك فالدكتور حافظ شمس الدين له إسهامات بارزة فى الترجمة والتأليف ووضع المعاجم والمصطلحات باللغات العربية والإنجليزية والفرنسية فى مصر والعالم العربى. وهو مدقق لغوى للعديد من الهيئات العلمية والمجلات المتخصصة فى مجالات الجيولوجيا وعلوم التنمية والبيئة واللغة العربية.

المحتويات

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

القسم الأول

PART 1

الچيولوچيا الفيزيقية

PHYSICAL GEOLOGY

الفصل الأول

هذه الأرض ... كوكبنا

THIS EARTH OF OURS

نحن نعيش فوق كوكب عجيب يسمى الأرض، ومع ذلك فإن معظمنا يعرف القليل فقط عن تركيبه وتاريخه . إننا نستغل نواتج التربة التى تكونت من عمليات تجوية الصخور، ونستخدم الفحم والغاز الطبيعى وزيت البترول، وكلها تكونت من بقايا نباتات وحيوانات ما قبل التاريخ، كذلك نستمتع بجمال الأحجار الكريمة التى أمدتنا بها الأرض . وإذا نظرنا إلى أهمية ما نحصل عليه من الأرض لتنمية الصناعة الحديثة، فإننا سوف نجد أن المصادر الضخمة للثروة المعدنية مثل الرصاص والحديد والفحم والبترول التى تستخرج من الأرض، أصبحت فى متناول الأيدى من خلال الدراسات الجيولوجية الأساسية والتطبيقية وكذلك الجيولوجيا الهندسية.

وأمدتنا الأرض كذلك بأشياء كثيرة نستمتع بجمالها المتفرد، ففى بريطانيا مثلا هناك خانق «شيدار» وطريق العمالقة ومنطقة البحيرات؛ ثم هناك الينابيع الحارة فى نيوزيلندا وحاجز الشعاب العظيم فى أستراليا، كذلك مشاهد البراكين ومساقط المياه المثيرة للإعجاب. كل هذه الظواهر والكثير غيرها تكونت بفعل العمليات الجيولوجية، والتى لا تزال تعمل فى باطن الأرض وعلى سطحها حتى يومنا هذا. وبالطبع فإن هذه العوامل الجيولوجية هى ذاتها التى بدأت فى تشكيل الأرض بعد مولدها مباشرة منذ أربعة أو خمسة آلاف مليون سنة.

١- طبيعة ومجال علم الجيولوجيا The Nature and Scope of Geology

ما هى الجيولوجيا؟

اشتقت الكلمة من أصل إغريقى «جيو» بمعنى أرض و«لوجيا» بمعنى معالجة أو علم، فالجيولوجيا هو العلم الذى يختص بدراسة أصل الأرض وتاريخها وبنائها وسكانها كما هو مسجل فى الصخور.

وكانت أحداث يوليو عام ١٩٦٩ انطلاقا جديدا لعلم الجيولوجيا خارج نطاقه التقليدى فأدخلته عصر الفضاء، عندما وضع الإنسان قدميه على سطح القمر وأحضر معه عينات من صخوره، لكى يدرسها الجيولوجيون وعلماء الأرض.

ولا يوجد أحد منا - حتى الآن - يعلم ما الذى سوف تؤدى إليه هذه الدراسات. هل سنحصل على صورة أوضح لأصل القمر والأرض؟ هل سنجد خامات معدنية ثمينة أو معادن ليست معروفة لنا حتى الآن؟ ربما يتمكن الإنسان من زيارة كواكب أخرى فى نظامنا الشمسى قبل نهاية هذا القرن. وبالطبع فإن ذلك - لو حدث - فسوف يستحدث فروعا مبهرة لعلم الجيولوجيا.

ولنعد مرة أخرى إلى كوكبنا، فبالنسبة للجيولوجى ليست الأرض ببساطة هى الكوكب الذى نعيش فوقه، لكنها الأرض بزلازلها وبراكينها ومناجمها وحفرياتها وكانت وستظل هى الشغل الشاغل للجيولوجيين. كم عمر الأرض؟ ومن أين أتت؟ ومن أية مادة صنعت؟ وللإجابة على هذه الأسئلة فلا بد لعلماء الأرض أن يدرسوا أدلة الأحداث التى وقعت منذ ملايين السنين، ولا بد لنا أن نضاهى هذه الأحداث بأحداث مشابهة تحدث فى أيامنا الحالية. مثال ذلك فالجيولوجى يحاول أن يحدد أماكن وامتدادات المحيطات القديمة وسلاسل الجبال، ويتتبع تطور الحياة كما هو مسجل فى صخور لها أعمار مختلفة، كذلك يدرس الجيولوجى تركيب الصخور والمعادن التى تكون القشرة الأرضية، وذلك فى محاولة لتحديد أماكن جديدة للمعادن الاقتصادية القيمة الموجودة فى هذه الأماكن لإمكانية استغلالها. وحتى يواصل الجيولوجيون دراساتهم، فلا بد لهم أن يستعينوا بالعلوم الأساسية الأخرى مثل علم الفلك الذى يختص بدراسة طبيعة وحركة الكواكب والنجوم والأجسام السماوية الأخرى؛ كذلك تحديد موقع الأرض فى

الكون، وأيضا دراسة النظريات العديدة التى تضع فروضا عن أصل ونشأة الأرض. ولا بد من الاستعانة أيضا بعلم الكيمياء الذى يختص بدراسة التركيب الكيميائى للمواد المكونة للأرض والتغيرات التى طرأت عليها. وكذلك علم الفيزيقا (دراسة المادة والحركة) الذى يساعد على تفسير القوى الطبيعية المختلفة التى تؤثر فى الأرض وردود الفعل من المواد المكونة للأرض ضد هذه القوى المؤثرة.

ولكى نتفهم طبيعة النباتات والحيوانات التى عاشت فيما قبل التاريخ فلا بد لنا أن نرجع إلى علم البيولوجيا، الذى يختص بدراسة كل أشكال الحياة؛ فعلم الحيوان يمدنا بمعلومات قيمة عن الحيوانات القديمة وعلم النبات يساعدنا على تفهم طبيعة الحفريات النباتية. وبالاستفادة من هذه العلوم وغيرها، يصبح الجيولوجى قادرا على استيعاب مشاكل كثيرة ومعقدة تعترضه عند دراسة الأرض وتاريخها. ومجال علم الجيولوجيا واسع جدا ويتشعب إلى قسمين كبيرين هما الجيولوجيا الفيزيقية Physical Geology والجيولوجيا التاريخية Historical Geology.

ولسهولة الدراسة، فإن كل قسم ينقسم إلى عدد من الأفرع المتخصصة. وعموما فإن مصطلح علم الأرض يستخدم لدراسة الجيولوجيا، ومع ذلك فإن علم الأرصاد الجوية (دراسة الغلاف الجوى) وعلم المحيطات وعلم الفلك تدخل كلها فى نطاق علم الجيولوجيا.

٢-الجيولوجيا من حولنا The Geology Around Us

كيف يمكننا دراسة الكثير عن كوكب الأرض واستنباط التاريخ الذى يمكن قراءته من صخور هذا الكوكب؟ فى الواقع أن هذا شىء بسيط للغاية. فالجيولوجيا تعنى كل شىء حولنا، فمختبر الجيولوجى هو الأرض التى يقف فوقها، وكل خطوة يخطوها فى الحقل وكل مسافة يقطعها سوف تسوقه إلى معايشة العمليات الجيولوجية ونتائجها . مثال ذلك عندما يلتقط عينة من الحجر الجيرى العادى؛ من المحتمل أن تكون محتوية على حفريات، ومن الممكن أن هذه الحفريات تمثل بقايا حيوانات عاشت فى بعض بحار ما قبل التاريخ والتى ربما تكون قد غطت هذه المنطقة . وربما تكون أنت قد مشيت على امتداد ضفة نهر ما، لاحظ الغرين الذى

خلّفه الفيضان الأخير . .هذا سوف يجعلنا نفكر فى قدرة المياه الجارية على وضع الرواسب، والتى ستصبح فيما بعد صخورا رسوبية. . لاحظ أيضا كيف أن التيارات النهرية السريعة قد نحتت جوانب النهر وأن أجزاء من التربة قد أزيلت بفعل عوامل النحات والعوامل الجيولوجية المؤثرة تأثيرا بالغا فى تشكيل سطح الأرض ومظاهره. وربما ترى حقلا ينتج محصولا من القمح وتربة هذا الحقل سوداء.

سوف يدهشك أن تعرف أن هذه التربة السوداء الغنية قد أتت من الحجر الجيرى الطباشيرى الأبيض الموجود أسفل هذه التربة السوداء . . . وفى حياتنا اليومية المعتادة هناك أمثلة أخرى كثيرة تذكرنا بأهمية الأرض وموادها وعملياتها الجيولوجية. وخلال الأعوام الأخيرة، حدث اهتمام متزايد بأهمية علم الأرض وأصبح كثير من الناس على دراية بأهمية علم الجيولوجيا فى حياتهم اليومية. وكثير من الناس يزورون المتاحف الجيولوجية ويدرسون الجيولوجيا سواء على المستويات الأكاديمية العادية أو المتقدمة فى المدارس والكليات وكثير من الناس يستعيرون كتب الجيولوجيا من المكتبات، ربما ساعدهم ذلك على تعرف اسم معدن أو عينة صخرية وجدها فى جرف أو فى محجر، أو على جمع معلومات أكثر عن التطور. كذلك يدرس بعض الناس فى المجموعات المسائية، بل إن هناك أعدادا متزايدة من الناس تسعى لمزيد من المعرفة عن المعلومات الجيولوجية بحكم مواقع أعمالهم. كل هذه المعلومات الجيولوجية سواء أكانت معلومات عابرة بسيطة أم معلومات متخصصة متقدمة، من الممكن أن تجعل الأرض التى نعيش فوقها موضوعا خلابا للدراسة.

٣- دراسة الجيولوجيا Studying Geology

قراءة الكتب والاستماع إلى المحاضرات أو مشاهدة الأفلام لا تستطيع أن تصنع جيولوجيا، لكنها عوامل مساعدة. ولكى تصبح جيولوجيا، فمن الضرورى ومن الأساسى للطالب أن يقوم ببعض الأعمال الجيولوجية بنفسه، مثلا، أجزاء من هذا الكتاب تختص بالمعادن، هذه الأجزاء سوف تكون مهمة فقط بالنسبة للذين شاهدوا بعض المعادن الحقيقية وأمسكوها بأيديهم وأعجبوا بها، حتى لو كانت هذه المعادن من ضمن المجموعة الجيولوجية المدرسية أو تلك المعروضة فى

متحف جيولوجى - فالجيولوجيا أساسا هى المشاهدة وتفسير الحوادث التى أثرت ولا تزال تؤثر فى كوكبنا الذى نعيش فوقه.

إن معظم الأعمال المبكرة التى أرست دعائم علم الجيولوجيا كانت دراسات لهواة متحمسين. ومن الممكن أن يكون هناك جدل حول أن علم الجيولوجيا يفتقد إعجاب العلوم الأخرى المرتبطة به. إننا نشاهد النباتات والحيوانات الحية، لكن لا أحد يستطيع أن يفكر فى أن دراسة الصخور ومحتوياتها سوف تأخذ الدارس إلى أعظم مشهد فى العالم، وأنت أيها القارئ سوف تستمتع كثيرا بعلم الجيولوجيا إذا ربطت قراءاتك الجيولوجية برحلاتك الجيولوجية فى الحقل. والجزء الموجود فى نهاية هذا الكتاب يقدم اقتراحا لكيفية الذهاب إلى هذا الجزء العملى من دراسة الجيولوجيا. وكبداية فكل المطلوب هو شاكوش جيولوجى وأزميل ونوتة للكتابة وحقيبة تحمل على الظهر، وزوج من العيون السليمة وكمية كافية من الملابس للحماية من تقلبات الجو.

قد تدل التربة ونباتاتها على نوع الصخور الموجودة أسفلها. والأبنية والحوائط المصنعة من الأحجار المحلية قد تكون مشاهدة جيولوجية هامة. المحاجر والجروف والحفر والطبقات النهرية والضفاف . . . كل هذه سوف تكون مصدرا هاما للمعلومات لو أن الظروف سمحت بدراستها عن قرب.

ولو فرض أنك وجدت قطعا صغيرة من صخر ما، فإنك سوف تهتز طربا لو وجدت حفريتك الأولى (وربما تحبط لو لم تجد الحفرية). فمن الطبيعى أنك تريد أن تعرف كيف ومتى تكون هذا الصخر؟ وماذا كانت الحفرية؟ ولماذا لم تكن هناك حفريات فى تلك المنطقة. كذلك فإنك حينما ترى صخورا مطوية أو مجعدة مثل تلك الموجودة فى غرب البلاد (إنجلترا). وحينما تقرأ عن الزلزال أو حتى تعايشه، سوف تجد نفسك تلقائيا شغوفا بمعرفة القوى الخفية التى سببته. مثلا الإغريق القدماء الذين وجدوا حفريات بحرية على قمم الجبال المصرية، هذا معناه أنك تعمل على أرض كانت فيما مضى بحرا يزخر بالحياة.

كذلك حينما تخرج إلى منطقة مستنقعات يوركشير وتجد قطعة من الشعاب المرجانية فى الحجر الجيرى هناك، فهنا يأتى دور القراءة وأهميتها أيضا . وأنت

أيضا حينما ترتجف من البرد وتلوذ من الرياح إلى ملجأ ما، ربما ترجع بذاكرتك إلى الخلف وتتذكر هذه المنطقة حينما كانت بحرا ضحلا دافئا بينما هى فى هذه الأيام منطقة استوائية مثلا.

فى مثل هذه الظروف، فإن مثل هذا الكتاب، قد يساعدك على أن تبلور أفكارك، وتحصل على معلومات لم تكن من قبل قادرا على ملاحظتها بنفسك. وفى حين أن الجيولوجى الهاوى يمتع نفسه عشوائيا، فقد يمضى ساعتين فى محجر ما دون أية فائدة، بينما الجيولوجى المحترف أو الجيولوجى الهاوى الجاد سوف يدرس الطبقة ويفحصها بوصة بوصة، حيث يجمع الحفريات وقطع الصخور أو المعادن من مستويات مختلفة ويصنفها ويتعرف الفروق بين المجموعات المختلفة، وكذلك يتعرف حجم الحبيبات المكونة للصخور. وسوف يلاحظ بنظرة جانبية ما إذا كانت طبقة الصخر تستدق أو تصبح أكثر غلظا، وقد تدل كل هذه الملاحظات والمشاهدات أو بعضها على أن هذه المنطقة محل الدراسة كانت قرب خط الساحل أثناء زمن التكون. كذلك سوف يلاحظ وضع الصخور واتجاه الطبقات ومقدار ميلها وبمقارنة هذه المشاهدات بأوضاع صخور أخرى بالمناطق الأخرى سوف يصبح الدارس قادرا على تفسير ما حدث تحت سطح الأرض، وللدقة الأكثر، فى استنتاج ما حدث تحت سطح الأرض، فقد تُحفر آبار اختبارية وتؤخذ عينات من الصخور من أعماق قد تصل إلى مئات الأقدام، وتجلب هذه العينات إلى السطح لدراستها. وتعطى الآبار والمناجم معلومات قيمة لجيولوجيا ما تحت الصخور المنكشفة. وهناك جيولوجيون كثيرون يعملون فى شركات البترول وشركات التعدين ومصادر المياه، ومن ملاحظاتهم المستمرة ومحاولاتهم وأخطائهم، فإنه يمكن تعرُّف الظروف المناسبة لتحديد أماكن وجود البترول والغاز الطبيعى. وهكذا فإن المختص بالتنقيب يستمر فى عمله كى يتتبع الصخور ويقترح ما إذا كانت المنطقة جديرة بالتنقيب فيها أم لا. وقد يستخدم المتفجرات لإحداث صدمة موجية مثل تلك التى يحدثها الزلزال الحقيقى(انظر الفصل الحادى عشر)، وذلك حتى يرسم صورة لصخور ما تحت السطح، حيث ترتد الموجات من الطبقات المقاومة. وبعد هذا المسح الجيولوجى الأولى، لا بد أن يأتى دور الحفر والتجهيز، وهذه عمليات مكلفة وتحتاج لجهد ووقت طويل. وبعد ذلك يدرس

الجيولوجيون الحفريات الدقيقة التى استخرجت من عمليات الحفر؛ وتستخدم هذه الحفريات أيضا لتحديد جدوى استمرار عمليات الحفر.

وقد أدى التطور الحديث واستخدام المركبات الفضائية فى مسح المناطق والبلدان إلى نتائج غير عادية لم يكن بالإمكان التوصل إليها بواسطة الفحص الأرضى العادى. وباستخدام تقنيات الأشعة دون الحمراء وأنواع أخرى من الكاميرات وبالتعاون مع مركبات الفضاء أمكن فتح طرق جديدة ومجالات جديدة لتحديد وجود وأماكن الثروات المعدنية الاقتصادية المهمة.

لا يعمل الجيولوجى فى الحقل فقط، بل إنه يقضى كثيرا من الوقت فى المختبر، -حيث يدرس عيناته بدقة ويعين حجم حبياتها ويبحث عن التغيرات الدقيقة فيها، وكذلك يجهز القطاعات الرقيقة للصخور ليشاهدها تحت المجهر.

٤- الجيولوجيا الفيزيقية Physical Geology

تختص الجيولوجيا الفيزيقية بدراسة تركيب الأرض وبنيتها والقوى التى تعمل على سطح الأرض والقوى التى فى داخلها؛ وكذلك العمليات الجيولوجية التى غيرت وتغير من سطح الأرض. ويشمل هذا القسم الكبير من علم الجيولوجيا مجموعة من الفروع مثل علم المعادن (دراسة المعادن) وعلم الصخور (دراسة الصخور) اللذين يقدمان معلومات مهمة عن تراكيب الأرض. كذلك يتضمن هذا الفرع الجيولوجيا البنائية التى تفسر تراكيب الصخور فى الأرض، والجيومورفولوجيا التى تفسر أصل المظاهر السطحية للأرض. وهناك تخصص مهم من الجيولوجيا الفيزيقية هو الجيولوجيا الاقتصادية الذى يختص بدراسة نواتج القشرة الأرضية ذات الأهمية الاقتصادية، وتطبيقاتها فى الأغراض التجارية والصناعية. ويضم هذا الفرع أيضا - على سبيل المثال - المجالات المهمة لجيولوجيا المناجم وجيولوجيا البترول (هذه الفروع من الجيولوجيا الفيزيقية سوف تناقش فى الجزء الأول من هذا الكتاب) وتساعد هذه الفروع على القيام بدراسات تفصيلية عن كل أطوار علم الأرض، حيث إن المعلومات التى يمكن الحصول عليها من هذه البحوث تعد أفضل الطرق لفهم أفضل لفيزيقا الأرض.

٥-الجيولوجيا التاريخية Historical Geology

الجيولوجيا التاريخية هي دراسة أصل وتطور الأرض، وما يسكنها من الأحياء، وهي تغطي مجالات عديدة (كما هو الحال في الجيولوجيا الفيزيقية)، ولهذا فقد قسمت إلى فروع كثيرة، كل فرع يعد مستقلا بذاته، وقد يقضي الإنسان عمره كله لكي يتخصص في فرع واحد من هذه الفروع.

ولإنجاز دراسة التاريخ الجيولوجي لمنطقة ما، فإن الجيولوجي يستخدم فرع الاستراتجرافيا، الذي يختص بدراسة أصل وتركيب وتتابع الطبقات ومضاهاتها، كذلك علم الحفريات (الباليتولوجيا) الذي يعطي خلفية عن تطور الحياة على الأرض، وأيضا علم الجغرافيا القديمة الذي يعد وسيلة لدراسة الظروف الجغرافية للأزمنة الماضية، وبالتالي فمن الممكن استنتاج العلاقة بين البر والبحر في الأزمنة القديمة وكذلك الكائنات التي كانت تسكنها في تلك الأزمنة.

وقد تتداخل الفروع الرئيسة للجيولوجيا التاريخية بعضها مع بعض وتتشابك كثيرا، شأنها في ذلك شأن فروع الجيولوجيا الفيزيقية - فالجيولوجي الفيزيقي (الجيوفيزيقي) يستخدم علم المعادن وعلم الصخور لكي يحدد نوع الصخور الموجودة ومصادرها، والجيولوجي التأريخي يدرس الصخور نفسها لكي يؤكد أنواع الحيوانات والنباتات التي كانت تعيش في أثناء زمن ترسيب هذه الصخور، وكذلك البيئة التي عاشت فيها هذه الأحياء وأنواع المناخات التي سادت فيها. ويؤدي الارتباط والتعاون بين الدراسات التاريخية والفيزيقية لعلم الجيولوجيا إلى فهم أفضل في سبيل معرفة تركيب كوكب الأرض وتاريخه.

٦-الأرض في الفضاء The Earth in Space

اهتم الإنسان منذ زمن بعيد وقبل مولد العلوم الجيولوجية بدراسة الأرض وعلاقتها بالنجوم والكواكب وبالتأمل فيها وذلك لمحاولة معرفة أصلها. وبالرغم من أن هذه الدراسات يتضمنها علم الفلك. إلا أن الإلمام بقدر مختصر من المعلومات عن الأرض وعلاقتها بالكواكب الأخرى، سوف يساعد القارئ على فهم موقع الأرض في الكون.

والمجرات galaxies هي المكونات الأساسية للكون، وهي تراكمات قرصية الشكل تحوي ملايين أو بلايين النجوم. ويقدر الفلكيون أن هناك عددا كبيرا

من المجرات فى الفضاء الخارجى، مع هذا فالذى يعنينا هنا هى مجرة الطريق اللبنى التى يوجد فيها كوكب الأرض، وهو الكوكب الذى سنناقشه فى هذا الكتاب. وتحتوى المجرة على آلاف الملايين من النجوم ، وكل نجم منها قد يمكننا رؤيته بالعين المجردة. والمجرة شكلها عدسى، والشمس هى أحد نجومها، ويبلغ قطر الشمس حوالى ٨٦٥ ألف ميل وتقع فى نصف المسافة تقريبا بين مركز الطريق اللبنى وحافته. وتعد الشمس مركز النظام الشمسى الذى يتكون من الشمس وتسعة كواكب كلها تدور حول الشمس، وتضم المجموعة الشمسية نفسها الآلاف من الكويكبات السيارة والمذنبات والشهب. والكواكب planets هى أكبر الأجسام الصلبة فى النظام الشمسى وتدور كلها فى نفس المستوى حول الشمس. والكواكب التسعة (مرتبة تبعا لقربها من الشمس) هى عطارد - الزهرة- الأرض - المريخ - المشترى - زحل - أورانوس - نبتيون - بلوتو). ومعظم الكواكب ترتبط بها توابع أصغر حجما تسمى الأقمار satellites or moons، وهى تدور حول الكوكب الذى تتبعه. وقمر الأرض هو التابع الوحيد لها، ويدور حولها مرة كل شهر تقريبا. وبعض الكواكب الأخرى مثل عطارد والزهرة ليست لها توابع أو أقمار معروفة، بينما المشترى، وهو أكبر الكواكب حجما يتبعه اثنا عشر قمرا.

ويوجد بين مدارى المريخ والمشترى آلاف من الأجسام الصغيرة التى تشبه الكواكب وتسمى الكويكبات asteroids (planetoids) وكلها تدور حول الشمس تماما كما تدور الكواكب التسعة حول الشمس.

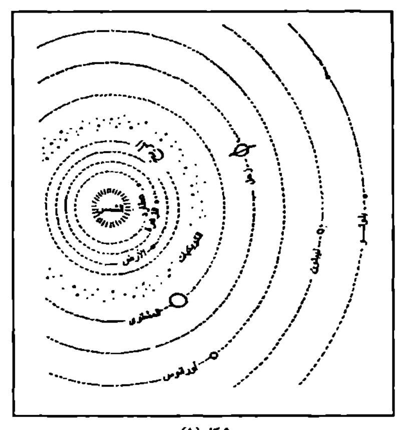
والشهب meteors أجسام تشبه الصخور وتسبح فى الفضاء وتشتعل إذا ما دخلت الغلاف الجوى للأرض، ويطلق عليها اسم قذائف النجوم. وقد تصل إلى الأرض وتصطدم بها مكونة النيازك meteorites.

ويحتوى النظام الشمسى أيضا على أجسام سماوية مضيئة ذاتيا تسمى المذنبات comets، وهذه حينما تقترب من الشمس يمكن مشاهدتها من على سطح الأرض، ونظرا لأن المدار الذى تدور فيه غير مركز، فإن مشاهدتها تكون قليلة وبصعوبة كبيرة. ويمكن حساب وقت عودة المذنبات قريبا من كوكب الأرض والتنبؤ به تماما. مثال ذلك مذنب هالى Halley 's Comet وقد كانت آخر زيارة له قرب كوكب الأرض عام ١٨٣٥ وعام ١٩١٠ . وكان من المتوقع أن يشاهد هذا المذنب سكان كوكب الأرض عام ١٩٨٦ وفعلا تم رصده وأمكن مشاهدته عام ١٩٨٦ .

٧- شكل الأرض وأبعادها وحركاتها

Shape , Dimensions and Motions of the Earth

الأرض هى أكبر الكواكب الأربعة الموجودة في المجموعة الشمسية الداخلية (عطارد والزهرة والأرض والمريخ)، وهى ثالث كوكب قربا من الشمس (شكل ١).



شكل (١)

الأوضاع النسبية للكواكب فى النظام الشمسى

• شكل الأرض Shape of the Earth

الأرض كرة منبعجة، وبعبارة أخرى فهى شكل الكرة تقريبا، أو كروية الشكل ما عدا التسطح البسيط عند القطبين، وهذا التسطح وما يصاحبه من انتفاخ عند خط الاستواء ينتج عن القوة الطاردة المركزية نتيجة لدوران الأرض.

• أبعاد الأرض Dimensions of the Earth

- يبلغ القطر القطبى لكوكب الأرض حوالى ٧٩٠٠ ميل (١٢٦٥٠ كيلو مترا) ويبلغ طول القطر الاستوائى ٧٩٧٢ ميل (١٢٦٩٣ كيلو مترا) وذلك نتيجة

الانتفاخ عند خط الاستواء. ويبلغ محيط الأرض حوالى ٢٤٨٧٤ ميلا (٣٩٨٠٠ كيلو متر). وتبلغ المساحة السطحية للأرض ١٩٧ مليون ميل مربع (٥٠٠ مليون كيلو متر مربع)، حوالى ٥١ مليون ميل مربع منها (١٣٠مليون كيلو متر مربع) أى حوالى ٢٩ ٪ أرض يابسة، بينما الباقى ويمثل ٧١٪ فتغطيه المياه.

• حركات الأرض Earth Motions

تدور كل كواكب المجموعة الشمسية - ومن بينها الأرض - حول الشمس داخل مداراتها خلال فترة زمنية معينة، وبخلاف دوران الأرض حول الشمس، فإن الأرض تدور حول محورها.

والمحور الذى تدور حوله الأرض هو محورها الصغير الذى يصل بين القطبين، ويكون اتجاه الحركة من الغرب إلى الشرق وتدور الأرض دورة كاملة مرة كل يوم ، وينتج عن هذه الحركة تعاقب الليل والنهار، والمحور الذى تدور حوله الأرض لا يكون عموديا على مدار الأرض حول الشمس (لأنه لو كان كذلك فلن يكون هناك تغير فى الفصول الأربعة على كوكب الأرض).

ويميل هذا المحور بزاوية قدرها ٢٣,٥° على المستوى العمودى فى أيامنا الحالية، ونقول فى أيامنا الحالية نظرا لأن زاوية الميل تتغير طالما أن محور الأرض يتذبذب للأمام وللخلف ويستغرق فى ذلك مدة زمنية حوالى ٢٦٠٠٠ سنة لإكمال ذبذبة واحدة كاملة.

• دوران الأرض Rotation of the Earth

تدور الأرض حول الشمس فى مدار إهليلجى الشكل تقريبا، وذلك مرة كل ٣٦٥,٢٥ يوما، وخلال هذه المدة (سنة شمسية) تزيد سرعة دوران الأرض على ٦٠ ألف ميل (٩٦ ألف كيلو متر) فى الساعة. وتبلغ المسافة بين الشمس والأرض حوالى ٩٣ مليون ميل (١٤٩مليون كيلو متر). وبالإضافة إلى حركات دوران الأرض وذبذبتها، فإن الأرض تتحرك مع النظام الشمسى فى الاتجاه العام نحو النجم فيجا بسرعة حوالى ٤٠٠ مليون ميل فى السنة (٦٤٠ مليون كيلو متر فى السنة).

٨- الأقسام الرئيسية للأرض Principal Divisions of the Earth

تتكون الأرض من الهواء والماء واليابسة، وتحدد هذه الأغلفة الثلاثة بدقة أكبر فتسمى الغلاف الجوى وهو غلاف غازى يحيط بالأرض؛ والغلاف المائى وهو الماء الذى يملأ المنخفضات ويغطى ثلاثة أرباع سطح الأرض تقريبا. والغلاف الصخرى وهو الجزء الصلب الذى يوجد تحت الغلافين الهوائى والمائى .

• الغلاف الهوائى Atmosphere

هو الجزء الغازى من الأرض ويمتد مئات الأميال إلى أعلى فوق مستوى سطح البحر. ويتكون من خليط من غازات النتروجين والأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء وغازات أخرى (انظر جدول ١).

والغلاف الجوى هو الذى يجعل الحياة ممكنة على كوكب الأرض. وبالإضافة إلى ذلك فهو يعمل كعامل عازل لحمايتها من الحرارة

جدول رقم (١) تحليل الغازات الموجودة فى الهواء الجاف النقى (لاحظ أن الأكسجين والنتروجين يمثلان ٩٩٪ من التركيب الكلى)

الغاز		النسبة بالحجم
النتروجين	Nitrogen	٧٨,٠٨٤
الأكسجين	Oxygen	٢٠,٩٤٦
الأرجون	Argon	٠,٩٣٤
ثانى اكسيد الكربون	Carbon Dioxide	٠,٠٣
النيون	Neon	,٠٠١٨١٨
الهليوم	Helium	,٠٠٠٥٢٤
الميثان	Methane	٠,٠٠٠٢
الكريتون	Krypton	٠,٠٠٠١١٤
الهدروجين	Hydrogen	٠,٠٠٠٠٥
اكاسيد النيتروز	Nitrous Oxides	٠,٠٠٠٠٥
الزينون	Xenon	٠,٠٠٠٠٠٨٧

والأشعة فوق (فوت) البنفجية القادمة من الشمس، كما أنه يقى الأرض من اصطدام النيازك بها. والغلاف الجوى عامل جيولوچى مهم (انظر الفصل السادس)، فهو المسئول عن عمليات التجوية التى تعمل باستمرار على سطح الأرض.

• الغلاف المائى The Hydrosphere

يشمل الغلاف المائى كل ماء المحيطات والبحيرات والأنهار على سطح الأرض، بالإضافة إلى المياه الأرضية التى توجد فى مسام وشقوق صخور القشرة الأرضية والتربة. ويوجد معظم الماء فى المحيطات التى تغطى ٧١٪ تقريبا من سطح الأرض بمتوسط عمق حوالى أربعة كيلو مترات . والمياه هى السبب الأساسى لاستمرار الحياة ووجود الإنسان، ولها أهمية جيولوچية فائقة جدا. فالأنهار الجارية والمحيطات لها دور مهم فى النحت والنقل والترسيب. ولقد كان للماء والعوامل الجوية الأخرى الأثر الفعال والقوة الكبرى التى شكلت مظاهر سطح الأرض على امتداد الأزمنة الجيولوجية. وسوف نخص الغلاف المائى بشىء من التفصيل فى الفصول القادمة من هذا الكتاب.

• الغلاف الصخرى The Lithosphere

يمثل الغلاف الصخرى الأهمية الأولى للجيولوچى. ويتكون الغلاف الصخرى للأرض من معادن وصخور تكون بدورها الكتل القارية وأحواض المحيطات (انظر الفصل التاسع).

وتتكون صخور الغلاف الصخرى من ثلاثة أقسام أساسية هى الصخور النارية والصخور الرسوبية والصخور المتحولة. والصخور النارية هى التى كانت فى الأصل صهارة بردت وتصلبت لتكون صخورا نارية مثل الجرانيت والبازلت. أما الصخور الرسوبية فتتكون من كسر من صخور (سابقة الوجود) ترسبت بفعل الرياح والمياه والجليد مثل الحجر الجيرى والحجر الرملى والصخور الطينية.

وتتكون الصخور المتحولة من صخور رسوبية أو نارية أو حتى متحولة وتعرضت إلى تغيرات فيزيقية وكيميائية كبيرة، ومثال ذلك الرخام الذى كان أصلا حجرا جيريا.

ومعظم المعلومـات التى عرفناها عن الغـلاف الصخرى تعلـمناها من خلال دراساتنا للمـواد السـطحية للأرض، ومع ذلك فقـد جمع الجيولوجيـون معلومات قيمة عن داخل الأرض نتيجة لحفر الآبار والمناجم وللدراسات السـيزمية . . كذلك أدت الحركات التكتونية إلى وجـود صخـور علـى سطح الأرض كانـت قبـل ذلك موجـودة تحت السـطح وعند أعماق بعـيدة جداً. وقد أمدتنا دراسـة هذه الصـخور بمعلومات قيمة جدا عن جيولوجيا الأعماق.

ويقسم الغـلاف الصخرى إلى ثلاثـة نطاقات سـوف نخـتصهـا بالدراسة فى الفصـل الحادى عشر من هذا الكتاب.

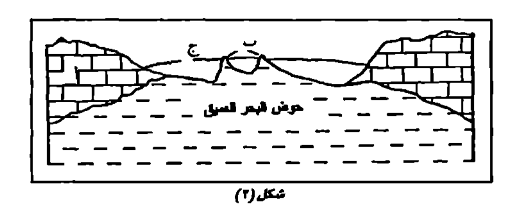
٩-المظاهر الفيزيقية الكبرى على الأرض

Major Physical Features of the Earth

مظاهر التـضـاريس الكبـرى عـلى الأرض هى الكتل القـارية، وأحـواض المحـيطات. وهذه المظاهر هى التى ظلـت ثابتـة ظاهريا طوال الأزمنة الجـيولوجيـة المعروفة.

• الكتل القارية The Continental Masses

القارات هى أرصفة صخرية وتغطى ٢٩٪ تقريبا من سطح الأرض، وتتكون معظمهـا من صخور الجرانيت ويبلغ متوسط ارتفـاعها ثلاثة أميال (حوالـى خمسـة كيلو مترات) فـوق أرضيـات أحواض المحيطات المجاورة، وترتفع فى المتوسـط إلـى نصـف ميل (حوالى كيلو متر) فوق مسـتوى سطح البحر (شكل ٢) .



شكل (٢)

القارات وأحواض المحيط

أ- القارات. ب - جزر بركانية. جـ مستوى البحر.

وتغمر المياه حافة الكتل القارية المواجهة للبحر، التي تسمى بالرفوف القارية. بالرغم من أن سطوح القارات تظهر غير منتظمة للإنسان، والفرق فى الارتفاع بين أعلى جبل (جبل إفرست حوالى ٢٩ ألف قدم فوق مستوى سطح البحر) وأعمق جزء فى قاع المحيط (٣٥ ألف قدم تحت مستوى سطح البحر جنوب جزيرة ماريانا) يكون غير منطقى إذا ما قورن ذلك بحجم الأرض.

• أحواض المحيطات The Ocean Basins

تشمل أحواض المحيطات الجزء الأكبر من الغلاف المائى وتغطى أكثر من ٧١٪ من سطح الأرض. وأرضيات المحيطات ليست كما كنا نعتقد مسطحة بلا مظاهر طوبوغرافية؛ ففى الواقع توجد بها أشكال طوبوغرافية غير منتظمة تماما كما هو الحال على سطح الأرض، إذ توجد أخاديد وشقوق عميقة وسلاسل جبلية تحت سطح البحر. وأعمق المحيطات هو المحيط الهادى (حوالى ٣٥ ألف قدم) وهو أكبر المحيطات الخمسة أيضا ويغطى نصف الكرة الأرضية تقريبا.

وفى أعمق أجزاء المحيطات تتكون القيعان من صخور نارية دكناء اللون ولها وزن نوعى ثقيل، وتتكون من صخور البازلت، وفى بعض الأماكن قد تعلو صخور البازلت، طبقات من الرواسب البحرية.

١٠- القوى الجيولوجية Geologic Forces

تدل الدراسات الجيولوجية لأى جزء من سطح الأرض على وجود تغيرات هائلة طرأت على سطحها . ومعظم هذه التغيرات الكثيرة استلزم تكونها مددا زمنية طويلة جدا، واستغرق بعضها ملايين السنين، وتضم هذه التغيرات الحركات الأرضية، والنشاط البركانى، وعمليات البناء والهدم.

• الهدم والبناء Gradation

تتأثر الصخور السطحية دائما بقوى الهدم والبناء، مثال ذلك الغلاف الجوى الذى يؤثر فى الصخور، ويعمل على تجويتها سواء فيزيقيا أو كيميائيا، هذا بالإضافة إلى فعل الأنهار والمحيطات. والغلاف المائى يعمل على تفتيت الصخور ونقلها من مناطق إلى مناطق أخرى حيث تترسب هناك. وعلى ذلك فالهدم والبناء يشملان عمليتين منفصلتين.

ويطلق التحات على عمليـة الهدم وفيها تتفتت الصـخور بفعل الماء والهواء والثالج، وهنا يدخل دور الغلاف الجوى فى عمليـة التعرية والسحج ، حيث يبرز أثر الثالج وفعلها، وكذلك الفعل الحتى للأنهار وأثر الرياح فى سحج الصخور.

والمقصـود بعملية البـناء هو الترسـيب، وينتج من تراكـم الرواسب حتى يتم البناء النهـائى لطبقات الصـخور. وعوامـل الترسـيب الرئيـسـية هى الـرياح والجليد والماء.

• الحركات التكتونية أو التكتنة Tectonic Movement or Tectonism

يشمل هذا المصطلح كل حـركات الأجزاء الصلبة للأرض بالـنسبة لبعـضها البعض وتعد الحركات التكتونية الدليل على عدم ثبات القشرة الأرضـية، وينتج عن هذه الحـركات الصـدوع (الكـسور والإزاحـة) والطى والهبـوط والصعـود لتكاوين الصخور، وهذا ما يطلق عليه التحرف deformation.

والحركات التكتونية هى المسئولة عن تكوين سلاسل الجبال العظمى ومعظم تحرُفات البنيات الجيولوجية التى تقوم على سطح القشرة الأرضـية، هذا بالرغم من أن الظواهر التكتـونية مـثل الصدوع والطيات لا تـرى إلا حين تنكشف الصـخور نتيجة لعمليات التعرية.

بالإضافة إلى ذلك فإن هناك حركات تكـونية شائعة تكون هى المسئولة عن أنواع معيـنة من عمليات تحول الصـخور (انظر الفصل الخامس). وكذلك عـملية حقن الصهارة التى ثبـت أنها ترتبط دائما بالنشاط البـركانى (انظر فيما بعد)، بما قد يؤدى إلى تحرُّف الصخور وطيها.

• البركنة Volcanism

يختص هذا المصطلح بحـركة المواد الصخرية المنصـهرة فى باطن الأرض أو على سطحهـا. والعمليات البـركانية تنتج عنهـا اللابة والمخاريط البركـانيـة والرماد البركانـى مما تقذف بها البراكين (انظر الفصل الثالث).

الفصل الثانى

المــــــعـــــــادن

MINERALS

يهتم الجيـولوجى أساسا بالقشرة الصخـرية للأرض، لهذا فلا بد له من أن يعرف شـيئـا عن المعادن، التى تبنى كـتل القشرة الأرضـية. وبالرغم من اخـتلاف الجيولوجيين فى تعريفهـم لمصطلح «المعدن»، إلا أن هناك اتفاقا عاما على تعريف المعادن بأنها عناصر أو مركبات كيميائية توجد فى الطبيعة فى القشرة الأرضية. وهى مـواد غيـر عضـوية (لم تشتق مـن مصـادر حيـة)، وعلى هذا الأسـاس فـإن هذا التعريف لا يتضمن الفحم أو البترول. والمعادن لها تركيب كيميائى محدد أو مدى تركيبى وكـذلك لها ترتيـب ذرى معين (بنية بلوريـة). وأيضا لها صفات فيـزيقية مميزة. ويلزم التنوية إلى أن الصفات الكيميائية والفيزيقية لبعض المعادن قد تختلف، ولكن فى حدود معينة.

وتتكون الصخور من خليط أو تجمعات من المعادن، ويختلف تركيبها كثيرا، فالحجر الجيـرى مثلا، يتكون أسـاسا من معدن واحـد هو الكالسـيت. أما الجرانيت فيتكون دائما من ثلاثة معادن هى الفلـسـبار(فى بعض الأحـيان فلـسـبار متغيرمتنوع) والمايكا والكوارتز.

هناك معادن معـينة مثل الكالسـيت، والكوارتز والفلـسبار توجـد فى الصخور عامـة ويطلق عليـها المعـادن المكونة للصخـور. وهناك معـادن أخرى مـثل الذهب والألماس ومعادن اليورانيوم والفضـة توجد فى الصخور ولكن بكميات قليلة نسـبيا.

وتختلف المعادن فى صفاتهـا الفيـزيقية والكيميائية اختـلافا كبيرا. والآن دعنا نذكر أهم الصفات الفيزيقية والكيميائية التى تمكننا من التميـز بين معدن وآخر.

١- التركيب الكيميائي للمعادن Chemical Composition of Minerals

بالرغم من أن هذا الكتاب لا يتضمن مناقشات مستفيضة فى الكيمياء، إلا أنه يلزم التنويه عن المصطلحات الكيميائية اللازمة لتفهم التركيب الكيميائى للمعادن.

كل المواد، ومن ضمنها المعادن، تتكون من عنصر واحد أو أكثر، والعنصر مادة لا يمكن تجزئتها إلى مادة أبسط بالطرق الكيميائية العادية. ونظريا، لو أخذنا كمية من أى عنصر وقطعناها إلى أجزاء أصغر فأصغر، فإن أصغر جزء من هذه المادة سيظل يحتفظ بصفات العنصر المكون لها. وهذه الأجزاء اللامتناهية الصغر من العنصر هى الذرات، وبالرغم من أن الذرات تكون صغيرة للغاية، ولا يمكن رؤيتها بأقوى المجاهر (الميكروسكوبات)، فإننا نعلم قدرا كبيرا عنها. فمثلا نحن نعلم أن نواة الذرة تتكون من بروتونات وهى جسيمات لها شحنة كهربائية موجبة ونيوترونات أو جسيمات متعادلة كهربائيا. وتدور الإلكترونات السالبة الشحنة فى مدارات حول النواة، وبسرعة فائقة. والآن أصبح من المعلوم جيدا أن هناك بعض العناصر من الممكن أن تحطم ذرتها «التحطيم النووى» لكن هذه لا تعد من الطرق الكيميائية العادية. وبالرغم من أن هناك ٩٢ عنصرا فى الطبيعة، إلا أن هناك عناصر أخرى أمكن تحضيرها صناعيا. وبعض المعادن مثل الذهب أو الفضة تتكون من عنصر واحد فقط.

لكن الأكثر شيوعا أن المعدن يتكون من عنصرين أو أكثر، يتحد بعضها مع بعض ليكون مركبا، مثال ذلك الكالسيت مركب كيميائى يعرف باسم كربونات الكالسيوم، والتركيب الكيميائى لأى مركب يعبر عنه بالصيغة الكيميائية ($CaCO_3$ فى حالة الكالسيت)، وفيها يعبر عن كل عنصر برمز معين، وفى معظم العناصر يعبر الحرف الأول من اسم العنصر عن رمز هذا العنصر. فمثلا الحرف H للتعبير عن ذرة الهدروجين والحرف C للتعبير عن ذرة الكربون، وإذا كان هناك عنصران يبدآن بنفس الحرف فيمكن أن يكون الرمز حرفين بدلا من حرف واحد، وذلك لسهولة التمييز بينهما. مثلا ذرة من عنصر الهيليوم رمزها "He"، ذرة من الكالسيوم رمزها Ca ومن الجدير بالذكر أن بعض العناصر قد اشتقت رموزها من أسمائها اللاتينية المختصرة؛ مثلا الرمز "Cu" مشتق من اسم "Cuprum" ومعناه

باللاتينيـة نحاس، وهو يمـثل ذرة النحاس، وكـذلك الرمز "Fe" الذى يمثل ذرة الحديد ومعناه باللاتينية Ferrum أى الحديد. والترقيمات الصغيرة المستخدمة فى التعبير عن الصيغة الكيميائية تمثل النسبة التى يوجد بها كل عنصر. وعليه فإن الصيغة الكيميائية للماء H_2O تدل على أن ذرتين من الهدروچين تتحدان مع ذرة من الأكسچين ليتكون الماء. وبالرغم من وجود ٩٢ عنصرا فى الطبيعة، إلا أن ثمانية فقط هى الأكثر شيوعا وتكون أكثر من ٩٨٪ بالوزن من العناصر المكونة للقشرة الأرضية

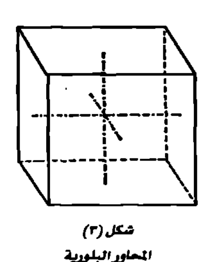
رمز العنصر		النسبة المئوية بالوزن
الأكسجين	(O)	٤٦,٦٠
السليكون	(S I)	٢٧,٧٢
الألومنيوم	(Al)	٨,١٣
الحديد	(Fe)	٥,٠٠
الكالسيوم	(Ca)	٣,٦٣
الصوديوم	(Na)	٢,٨٣
البوتاسيوم	(K)	٢,٥٩
المغنسيوم	(Mg)	٢,٠٩
المجموع		٩٨,٥٩

وكما هو واضح من الجدول السابق، فإن عنصرين فقط هما الأكسچين والسليكون يكونان تقريبا ثلاثة أرباع النسبة الوزنية للصخور، وهذان العنصران من اللافلزات، لكن الستة المتبقية من الفلزات. وتتميز الفلزات بقدرتها على التوصيل الحرارى والكهربائى، وقابليتها للطرق فى صفائح رقيقة السمك، والسحب أسلاكا. وتتميز كذلك بدرجة بريقها الذى يعبر عن درجة لمعان سطح المعدن نتيجة للضوء المنعكس منه، وبعض المعادن مثل الذهب والفضة والنحاس والحديد تعد من الفلزات. أما المعادن اللافلزية فليست لها الصفات التى ذكرت والتى تميز الفلزات. ومن أمثلة المعادن اللافلزية الكبريت والألماس والكالسيت.

٢-البلورات Crystals

عندما تتصلب المعادن وتنمو دون إعاقة، فسوف تكون لهـا أشكال ناعمة متماثلة وذات زوايا، وهـذه هى البلورات. والأسطح التى تحدد البلورة من الخارج هى الأوجه. ويتوقف شكل البلورة وكذلك قيمة الزوايا بين الأوجه البلورية المتجاورة على الترتيب الذرى الداخلى للبلورة، وهذه خاصية مهمة للتعرف على البلورات.

• النظام البلورى Crystal System



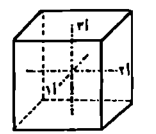
شكل (٣)
المحاور البلورية

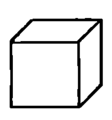
كل معدن ينتمى إلى أحد النظم البلورية وعددها ستة نظم وقد وضعت هذه النظم على أساس عدد المحاور البلورية وأوضاعها وأطوالها النسبية - والمحاور البلورية خطوط وهمية تمتد عبر مركز البلورة (شكل ٣-٩) - مثال ذلك ، بلورة من النظام الرباعى لها ثلاثة محاور، اثنان منها متساويان فى الطول ويسميان المحوران الأفقيان، والمحور الثالث والذى قد يكون أطول أو أقصر من المحورين الأفقين، ويسمى المحور الرأسى، لأن وضعه دائما يكون رأسيا عند تولية البلورة فى وضعها الصحيح وكل نظام بلورى له تماثله الخاص الذى يميزه، وهذه صفة مميزة لكل البلورات التى تنتمى للنظام نفسه. ويتوقف نوع التماثل الموجود فى البلورة على ترتيب المحاور البلورية.

ويميز علماء المعادن النظم البلورية الآتية

أ- نظام المكعبى أو متساوى الأطوال **Isometric or Cubic System**

تتميز البلورات التى تنتمى لهذا النظام بأن لها ثلاثة محاور متساوية فى الطول وتتقاطع بزوايا قائمة أى أنها متعامدة.





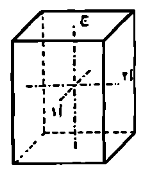
شكل (٤)

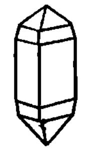
بلورة المكعبى (هاليت)

- المحاور البلورية ا١، ا٢، ا٣

ب- نظام الرباعى **Tetragonal System**

بلورات الرباعى لها ثلاثة محاور متعامدة، اثنان منها وهما الأفقيان متساويان فى الطول، لكن المحور الثالث وهو الرأسى قد يكون أطول أو أقصر من المحورين الآخرين.



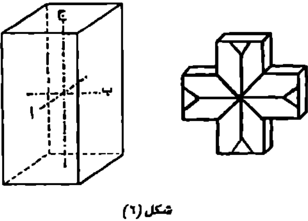


شكل (٥)

بلورة الرباعى (زيركون)

جـ- نظام المعينى المتعامد Orthorhombic System

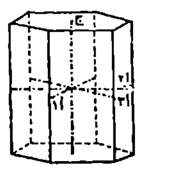
تتميز بلورات هذا النظام بأن لها ثلاثة محاور مختلفة الأطوال وتتقاطع بزوايا قائمة.

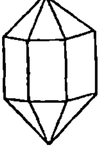


شكل (٦)
بلورة المعينى المتعامد (ستوروليت)

د- نظام السداسى Hexagonal System

هذا النظام البلورى يتميز بوجود ثلاثة محاور بلورية أفقية تتقاطع بزوايا ١٢٠°. يتعامد عليها محور رأسى، قد يكون أطول أو أقصر من المحاور البلورية الأفقية الثلاثة.

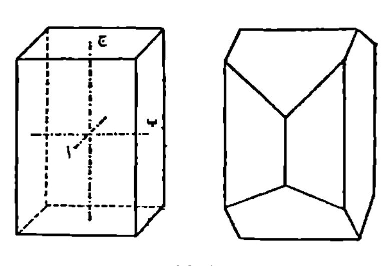




شكل (٧)
بلورة السداسى (كوارتز)

هـ - نظام الميل الواحد Monoclinic System

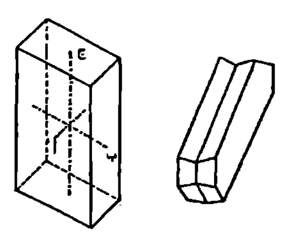
بلورات الميل الواحد توجد فيها ثلاثة محاور غير متساوية فى الطول، اثنان منها يتقاطعان بزوايا قائمة، والمحور الثالث مائل على مستوى المحورين الآخرين.



شكل (٨)
بلورة الميل الواحد (أرثوكليز)

و- نظام الميول الثلاثة Triclinic System

بلورات الميول الثلاثة تتميز بوجود ثلاثة محاور بلورية غير متساوية وكلها مائلة بعضها على بعض.



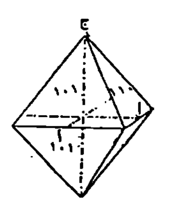
شكل (٩)
بلورة الميول الثلاثة (البيت)

• علم البلورات Crystallography

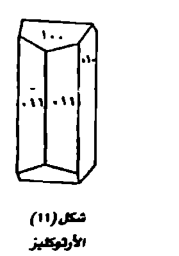
دراسة البلـورات علم خاص قائم بذاته، ولـقد ثبت من الدراسات المـتصلة بعلوم الرياضيـات إمكانية وجود ٣٢ نمطا تماثليا فى البلورات وتقع المـعادن العادية فى إحدى عشرة مـجموعة يمكن تصنيفها فى سـتة نظم بلورية، وبعض الضروب من الاثنين وثلاثين نمطا بلوريا توجد فى المركبـات المصنعة فقط (المخلقة)، أو التى تتمثل فى مركب غير موجود حتى الآن. ويلاحظ من الأشكال الموجودة أن الأوجه البلورية توجد عليها أرقام مشـتقة من دليل هو دليل ميلر (يوجد نظام آخر لتحديد دليل الوجه وضعه عالم آخر اسمه فايس).

مثـال ذلك، فى شكل رقم (١٠) الوجه واحد صـفر واحد يقطع المحور أ$_1$ فى الجزء الموجب، ويقطع المحورجـ فى الجـزء السـالب، لكنه لا يقطع المحور أ$_2$. ويجب أن نلاحظ أن رموز ميلر تعـبر عن مقلوب المسافات المقطوعـة، وعليه فإن الوجه الذى يوازى مـحورا يقطعه عند ما لا نـهاية، وبالتالى فإن رمـز ميلر يكون صفرا.

مثال آخـر فى شكل (١١) يوضـح نموذجا شائعا لبلورة أحـادية الميل وعليها ترقيم الأوجه الأمامية فقط، وواضـح أن عـملية ترقيم الأوجه ليست سهلة، لكنها معـقدة قليلا، ولمزيد من الإحاطة بهـذا الموضوع يمكن الرجوع إلى كـتب المعادن المتخصصـة.



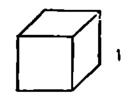
شكل (١٠)
بلورة الزيركون البسيطة
(نظام الرباعى)

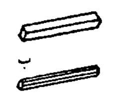


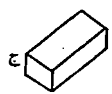
شكل (١١)
الأرثوكليز
(نظام الميل الواحد)

هيئة البلورة Crystal Habit

عندما تنمو أية بلورة لمعدن ما، فإنها سوف تتخذ شكلا معينا أو هيئة تسمى «هيئة البلورة» مثال ذلك بلورة الجالينا لها هيئة مكعبية (شكل ١٢أ). وبلورة معدن التورمالين لها هيئة عمدانية (شكل ١٢ب). وبلورة معدن الباريت ذات هيئة مسطحة (شكل ١٢جـ).







شكل (١٢)
الهيئات البلورية
أ- (مكعبية) ب- (عمدانية) ج- (نضدية)

ونظرا لأن بلورات المعادن توجد في نظم بلورية معينة، فسوف يكون لكل نظام صفات محددة، مثلا بلورات نظام المكعبي سوف يكون لها خصائص النظام نفسه فقط. ومع ذلك فعندما تتكون البلورات عند درجات حرارة مختلفة، فسوف تكون لها هيئات مختلفة داخل النظام البلوري ذاته. وعليه فإن بلورات معدن الفلوريت التي تتكون عند درجات حرارة منخفضة تكون لها هيئة مكعبية، بينما بلورات الفلوريت التي تتكون عند درجات حرارة مرتفعة يكون شكلها ثماني الأوجه، وفي بعض الحالات قد يكون في البلورة الواحدة لمعدن ما شكلان موجودان على البلورة نفسها.

وبالإضافة إلى درجة الحرارة، فإن عامل الضغط، وتركيز المحلول الذى تبلور منه المعدن، وكذلك الاختلاف في تركيب المعادن، قد يؤثر في شكل المعدن وهيئته، وكذلك يؤدى وجود الشوائب في المعدن إلى تغير شكله وهيئته.

٢- الخواص الفيزيقية للمعادن Physical Properties of Minerals

كل معدن له صفات فيزيقية معينة يمكن بواسطتها تمييزه والتعرف عليه، ومع أن بعض المعادن يمكن التعرف عليها بالمشاهدة، إلا أن بعضها الآخر لا يمكن تعرفها إلا بعد فحصها باختبارات بسيطة.

والخواص الفيزيقية المفيدة فى التعرف على المعادن هى

أ- الصلادة	hardness
ب- اللون	colour
جـ- المخدش (الحكاكة)	streak
د- البريق	lustre
هـ- الوزن النوعى	specific gravity
و - التشقق	cleavage
ز- المكسر	fracture
ح- الشكل أو الهيئة	shape or form
ط- التماسك	tenacity
ى- المذاق والرائحة والملمس	taste , odour and feel

وهناك صفات فيزيقية أخرى سوف تناقش فيما بعد. ويجب أن يتعلم الجيولوجى كيف يختبر عينة من المعدن حتى يتعرف عليها بدقة. وكثير من هذه الاختبارات لا تتطلب أجهزة معملية غالية الثمن، ويمكن إجراؤها فى الحقل. وبعض هذه الاختبارات يمكن استخدامها باستعمال الأدوات العادية مثل السكين أو نصل من الصلب أو عملة نحاسية أو مغنطيس صغير أو عدسة جيب لها قوة تكبير بين ٦ إلى ١٠ مرات، وهذه لا تكون غالية الثمن، كذلك باستخدام قطع من الزجاج وقطعة من الصينى غير المصقول، بل يمكن استخدام أظافر الأصابع كأداة لإجراء بعض من هذه الاختبارات.

• الصلادة Hardness

هى إحدى أسهل الطرق للتميز بين معدن وآخر، وتحدد صلادة المعدن من معرفة المواد التى يخدشها والمواد التى تخدشه، ويجرى اختبار الصلادة فى الحقل باستخدام أدوات أو مواد بسيطة، وللدقة فيمكن استخدام مقياس «موهس» للصلادة، والذى ابتكره عالم المعادن الألمانى فردريك موهس فى القرن التاسع عشر، عندما لاحظ موهس عند دراسته لمجموعته المعدنية أن بعض المعادن كانت أكثر صلادة من بعضها الآخر، واعتقد موهس أن هذه الخاصية قد تكون لها فائدة فى تعريف المعادن. ولهذا فقد اختار عشرة معادن معروفة لتكون معايير لدراسة

وتحديد صلادة بعض المعادن الأخرى. ووضع العشرة معادن المعيارية بحيث تبدأ بمعدن التلك وهو أقل المعادن صلادة فتكون له درجة صلادة «واحد» وأصلد المعادن هو الألماس ودرجة صلادته «عشرة» ويتكون مقياس موهس للصلادة من عشرة معادن مرجعية ترتب طبقا للازدياد فى الصلادة على النحو التالى

١- تلك	talc	(أقلها صلادة)
٢- جبس	gypsum	
٣- كالسيت	calcite	
٤- فلوريت	fluorite	
٥- أباتيت	apatite	
٦- فلسبار	feldspar	
٧- كوارتز	quartz	
٨- توباز	topaz	
٩- كورندم	corundum	
١٠- الألماس	diamond	(أكثرها صلادة)

ومعظم المعادن فى مقياس موهس معادن معروفة ويمكن الحصول عليها بسهولة دون أن تكون غالية الثمن. حتى الألماس فبالرغم من أنه غالى الثمن، إلا أنه ليس من المستحيل الحصول عليه. لاحظ أن المعادن مرتبة فى مقياس موهس بحيث إن المعدن سوف يخدشه المعدن الذى له رقم أعلى فى مقياس الصلادة، بينما سوف يُخدِش المعدن الذى له رقم أقل فى مقياس موهس للصلادة.

ويمكن إجراء اختبار الصلادة أيضا باستخدام الأدوات الشائعة الآتية

الأداة	الصلادة
ظافر الإصبع	حوالى ٢,٥
عملة نحاسية	حوالى ٣
الزجاج	من ٥ إلى ٥,٥
نصل السكين	من ٥,٥. إلى ٦
شريط من الصلب	من ٦,٥ إلى ٧

وكل أداة من هذه الأدوات سوف تخدش المعدن تبعا لدرجة صلادته، مثال ذلك، ظفر اليد سوف يخدش معدن التلك (صلادته ١) وكذلك معدن الجبس (صلادته ٢)، لكنه لن يخدش معدن الكالسيت حيث إن له درجة صلادة قدرها ٣ طبقا لمقياس موهس ولإجراء اختبار الصلادة، يمكن البدء بأكثر المواد شيوعا، ولنبدأ بالظفر، فإذا لم يخدش العينة، فلنستخدم نصل السكين، فإذا خدشت العينة بنصل السكين فهذا معناه أن للمعدن صلادة تقع بين ٥,٢و٦.

وبالرجوع إلى مقياس موهس للصلادة فإننا سوف نجد أن هناك ثلاثة معادن لها صلادة قياسية معلومة وتقع في هذا المدى؛ هذه المعادن هي الأباتيت (صلادته ٥) والفلورايت (صلادته ٤) والكالسيت (صلادته ٣).

فإذا لم يخدش الكالسيت المعدن، لكن خدشه الفلوريت، فهذا معناه أن صلادة المعدن تقع بين مدى صلادة الكالسيت والفلوريت وبالتالي بين ٣ و٤ تبعا لمقياس موهس. بعد ذلك حاول أن تخدش الفلوريت بالمعدن، فإذا استطعت ذلك حتى ولو بصعوبة، فإن صلادة المعدن تكون ٤، أما إذا لم يحدث ذلك فإن الصلادة تكون بين ٣ و٤.

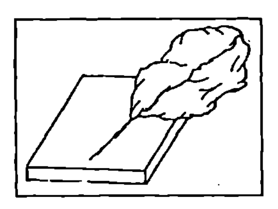
•اللون Colour

ربما يكون لون المعدن هو أول الأشياء التي تشاهدها. ومع ذلك فإن المعدن نفسه قد يكون له ألوان عديدة في عيناته المختلفة. وباستثناء حالات معدودة، فإن خاصية اللون تعد من الصفات المميزة للمعدن. وبعض المعادن لها ألوان ثابتة نسبيا، مثال ذلك معدن الأزوريت الذي يكون أزرق في العادة، الملاكيت الذي يكون أخضر، والبيريت الذي يكون أصفر. وهناك معادن أخرى مثل الكوارتز والتورمالين يوجد لها مدى واسع من الألوان، ولهذا فإن خاصية اللون لا تعد من الخواص المميزة لهذين المعدنين. ويعزى الاختلاف في اللون في هذه المعادن إلى وجود الشوائب الكيميائية في المعدن. وعند استخدام خاصية اللون للتعرف على المعدن، فمن الواجب أن تؤخذ في الاعتبار عدة عوامل هي إذا كانت العينة المعدنية ستفحص في الضوء الطبيعي أم الصناعي، كذلك إذا كان السطح المراد دراسته قشيا أو مُجوّى، وكذلك إذا كان المعدن جافا أم مبللا؛ كل من هذه العوامل قد تسبب اختلافا في لون المعدن.

بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض المعادن الفلزية تصدأ وبالتالى فإن اللون الحقيقى للمعدن سوف لا يظهر باستثناء ما يفحص من السطح القشيب للمعدن.

• المخدش (الحكاكة) Streak

عندما يحك المعدن على قطعة من الخزف (الصينى) غير المصقول، فإنه سوف يترك خطا أو أثرا يماثل علامة ما يتركه القلم الرصاص، وهذا الأثر هو لون المسحوق الناعم للمعدن والذى يعرف باسم الحكاكة أو المخدش. والأداة المكونة من الصينى غير المصقول والتى يحك عليها المعدن المراد دراسته تسمى لوح المخدش (الحكاكة) (شكل ١٣).



شكل (١٣)
اختبار المخدش (الحكاكة)

وقد يختلف لون المعدن عن لون حكاكته، مثال ذلك، قطعة من معدن الهماتيت الأسود لون حكاكتها بنى ضارب إلى الاحمرار. والمعادن عالية الصلادة مثل التوباز أو الكورندم، لا تترك أثرا على لوح الحكاكة، حيث إن صلادة لوح الحكاكة حوالى ٧ وهى بالطبع أقل من صلادة معدن التوباز (صلادته ٨) أو الكورندم (صلادته ٩) ولهذا فإن لوح الحكاكة هو الذى سَيُخْدَشُ وليس المعدن.

• البريق Lustre

هو مظهر سطح المعدن فى الضوء المنعكس، ويقال لبعض المعادن مثل الفضة الحرة والذهب الحر إن لها بريقا فلزيا؛ وأنواع البريق الأخرى هى البريق اللافلزى. وأهم أنواع البريق اللافلزى وأمثلته الشائعة هى:

الألماسى بريق لامع براق مثل الألماس.
زجاجى يشبه بريق الزجاج مثل الكوارتز أو التوبار.
صمغى أو راتينجى مثل بريق الصمغ كما فى معدن سفاليريت.
شحمى مثل سطح الزيت كما فى معدن النفلين.
لؤلؤى مثل سطح اللؤلؤ كما فى التلك.
حريرى له مظهر الحرير أو الألياف الصناعية ومثاله الأسبستوس.
مُطفأ أو أرضى مثل الطباشير والصلصال.

وهناك البريق تحت الفلزى وهو وسط بين البريق الفلزى واللافلزى، وأوضح أمثله معدن ولفراميت.

وهناك مصطلحات أخرى مثل لامع (براق فى الضوء المنعكس) ووامض (له بريق خاطف) وأخاذ ومُطفأ، وهذه كلها تستخدم للتعبير عن درجة البريق. وهنا لا بد أن نأخذ فى الاعتبار عوامل الصدأ، ونوع الضوء المستخدم، والحالة العامة لعينة المعدن التى تفحص.

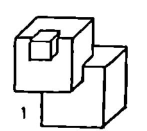
• **الوزن النوعى Specific Gravity**

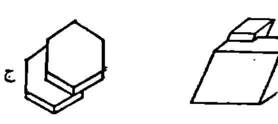
الكثافة أو الوزن النوعى لمعدن ما هى إلا وسيلة نافعة من طرق التعرف على المعدن، ويعين الوزن النوعى بمقارنة وزن عينة المعدن بوزن حجم مساوٍ من الماء النقى. وعليه، فعينة من خام الرصاص (جالينا) (وزنها النوعى حوالى ٧,٥) تكون ثقيلة بمقدار ٧,٥ مرة مثل حجم مساو لها من الماء. ولتعيين الوزن النوعى للعينة المعدنية، توزن العينة أولا فى الهواء بواسطة ميزان زنبركى، ثم تدلى فى إناء به ماء نقى وتوزن مرة أخرى. والوزن الحقيقى للعينة (وزنها فى الهواء) يقسم على الفرق بين القراءتين ليكون الناتج هو الوزن النوعى. ثم تقارن النتيجة بجدول قياسى مدون فيه الأوزان النوعية للمعادن المختلفة وذلك للتأكد من دقة النتيجة.

• **التشقق والكسر Cleavage and Fracture**

تتكسر المعادن إذا تعرضت لإجهاد يفوق حد اللدونة والمرونة. فإذا كانت سطوح الكسور الناتجة غير منتظمة يقال إن البلورة لها مكسر، وإذا كانت هذه الكسور على طول سطوح البلورة مرتبطة بالبناء البلورى فيقال حينئذ إن هذا تشقق. وكل مستوى تشقق فى البلورة يرتبط تماما بالبناء الذرى للمعدن؛ وبالتالى

فإن مستويات الضعف في البلورة هى انعكاس للترتيب البنائى لبلورة المعدن، ونظرا لأن عدد مستويات التشقق الموجودة، وكذلك الزوايا بينها يكون دائما ثابتا، فإن خاصية التشقق تكون نافعة جدا فى التعرف على المعدن. وقد يكون للمعدن اتجاه واحد للتشقق، وقد يكون هناك اثنان أو ثلاثة أو أربعة أو ستة اتجاهات للتشقق (شكل ١٤).





شكل (١٤)
انواع التشقق
ا- (مكعبى) ب- (معينى) ج- (كامل قاعدى)

فمثلا بلورة معدن الجالينا تتشقق فى ثلاثة اتجاهات متعامدة بعضها على بعض وتتقاطع فى زوايا رأسية. ولهذا إذا طرقت بلورة الجالينا طرقا خفيفا بمطرقة فإنها تتكسر إلى مكعبات صغيرة وعديدة من معدن الجالينا. ومن ناحية أخرى، فإن بلورة الكالسيت تتشقق فى ثلاثة اتجاهات أيضا، لكن هذه الاتجاهات ليست متعامدة بعضها على بعض، ولهذا فإن بلورة الكالسيت إذا تكسّرت إلى وحدات أصغر فإن الناتج سيكون أشكالا معينية الشكل متشققة. ويقال إن للجالينا تشقق مكعبيا، أما الكالسيت فله تشقق معينى. ومعظم المعادن تتكسر أو تتشقق بطريقة محددة؛ ولهذا السبب فإن الأسطح المكسورة تكون لها فائدة فى التعرف على المعدن الذى تكسر (شكل ١٥).





شكل (١٥)
انواع المكسر
ا- (محارى) ب- (مسنن) ج- (شظوى)

وهناك أنماط عديدة لمكسر المعدن؛ وأكثرها شيوعا هى

أ- المكسر المحارى conchoidal

حيث يكون سطح المعدن المكسور مماثلا لسطح الصدفة المقوس، وخير مثال على هذا النوع، مكسر معدن الكوارتز والأبسديان.

ب- المكسر الشظوى أو الإبرى splintery or fibrous

ويكون شكل السطح المكسور فى المعدن مثل الإبر أو الشظايا المتلاصقة، ومثاله الأسبستوس والبكتوليت.

جـ- المكسر المسنن hackly

وفيه يكون السطح المكسور مسننا مثل مكسر النحاس والفضة.

د- المكسر غير المستوى uneven

ويكون سطح المكسر فى المعدن غير ناعم وبه نتوءات، ويوجد هذا النوع من المكسر فى كثير من المعادن، ولهذا فإن فائدة هذه الخاصية ذات قيمة قليلة فى التعرف على المعدن من خلالها. ومن الأمثلة المعدنية لهذا النوع الجاسبر (ضرب من الكوارتز).

هـ- المكسر المستوى even

وهو كما يدل عليه التعريف وتمثله معدن المجنزيت.

و- المكسر الأرضى earthy

مثل معدن الكاولينيت.

• التماسك Tenacity

تماسك المعادن قد يعرف على أنه مقاومة المعدن للتمزيق أو السحق أو الثنى أو الكسر، ويمكن التعبير عنها فى المصطلحات الآتية

أ- قصف (قصيف) brittle

ويمكن كسر المعدن وسحقه بسهولة، وتوصف درجة قصفه بأنها عسيرة أو هشة. مثال هذا النوع الجالينا والكبريت.

ب- مـرن elastic

وفى هذا النوع يعـود المعدن إلى شكله ووضـعه الأصليـين بعد ثنيـه، مثل الميكا.

جـ- قابل للثنى flexible

وفى هذا النوع يمكن ثنى المعدن، لكنه لا يعود إلـى حالته الأولى بعد زوال القوى المسببة للثنى مثل الضغط، ومثاله التلك.

هـ- قابل للقطع sectile

حيث يمكن قطع المعدن بالسكين، مثل معدن الجبس والسيلينيت والتلك.

و- قابل للطرق malleable

فى هذا النوع يمكن طرق المعدن صفائح أو ألواحا رقيقة السمك مثل الذهب والنحاس.

ز- قابل للسحب ductile

ويمكن سـحب المعـدن على هيئة أسـلاك، مثال ذلك الذهـب والفضـة والنحاس.

• المذاق taste

بعض المعـادن القـابلة للذوبان لهـا طعم مميـز، وإنه لمن الشـائع لطالب الجيولوچيا أن يتذوق قطعة من معدن يظن أنها معدن الهاليت والمعروف باسم الملح الصخرى، لكى يتحقق من طعمها المالح. ويتميز ملح شيلى (نترات الصوديوم) بأن له مـذاقـا رطبا، بـينما مـعـدن الشـب الـذى يذوب بسرعـة، فله مـذاق قـابض حلو. والملح الإنجليزى (كبريتات المغنـيوم) له طعم مر لاذع. وباقـى المعادن الأخرى لكل منها طعمها الخاص المميز.

• الرائحة odour

عندما تُحك بعـض المعادن أو تُضرب أو يُنفس عليـها أو تسـخـن تنتج منها رائحة مميزة. مـثلا لو سُخِّن معدن البيـريت أو ضُرِب، فسوف تتصـاعد منه رائحة

قوية مميزة للكبريت. كذلك لو تَنَفَّسنا على معدن الكاولينيت أو المعادن الطينية عامة، فسوف تتصاعد منها رائحة طينية مميزة، ورائحة الثوم المميزة سوف تتصاعد من مركبات الزرنيخ عند تسخينها.

• الملمس Feel

قد يفيد ملمس المعدن فى التعرف عليه، فقد تكون بعض المعادن ناعمة أو شحمية والبعض الآخر قد يكون خشنا، وبعض المعادن الأخرى قد تلتصق باللسان عند لمسها به.

• صفات فيزيقية أخرى

بالإضافة إلى الصفات الفيزيقية التي ذكرت سابقا، فإن هناك صفات أخرى، قد تساعد بشكل كبير على التعرف عليها ومثال ذلك.

• عرض الألوان Play of Colours

بعض المعادن تبدى ألوانا مختلفة إذا نظر إليها من زوايا مختلفة، مثال ذلك معدن لابرادوريت.

• الكوكبية (النجمية) Asterism

تلاحظ هذه الخاصية فى المعادن التى تتجمع على هيئة نجمية وتفحص فى الضوء المنعكس أو النافذ فتبدو وكأنها مجموعات كوكبية أو نجمية ومثال ذلك معدن فلوجوبيت أو السافير النجمى.

• الشفافية Transparancey

تعزى هذه الخاصية إلى قدرة المعدن على إمرار وإنفاذ الضوء. والدرجات المختلفة للشفافية هى

أ- معتم opaque

لا يسمح بإمرار أو إنفاذ الضوء منه مثل معدن الجالينا والبيريت والمجنتيت.

ب- شبه شفاف transluscent

يسمح المعدن بإمرار الضوء خلاله، لكن لا تظهر الأجسام من خلفه بوضوح، مثال ذلك معدن الخلقدونى وضروب معينة من معدن الكوارتز.

جـ- شفاف (مُشف) Transparent

فى هذه الحالة يسمح المعدن بنفاذ الضوء خلاله ويمكن رؤية الأجسام من خلف المعدن بوضوح ومثال ذلك معدن الهاليت والكالسيت ومعدن الكوارتز المتبلور النقى.

- **الانكسار المزدوج Double refraction**

حينما يسقط الضوء على سطح معدن ما، فقد ينكسر شعاع الضوء شعاعين فى اتجاهين مختلفين وينتج عن ذلك صورة مزدوجة (شكل ١٩). وأوضح مثال توجد فيه هذه الظاهرة هو معدن الكالسيت.

- **المغنطيسية Magnetism**

يقال إن المعدن مغنطيسى، لو كان، فى حالته الطبيعية، ينجذب للحديد الممغنط واللودستون (ضرب من معدن المجنتيت)، مثلا ومعدن المجنتيت، والبيروتيت واللودستون هى معادن ممغنطة طبيعيا، وتنجذب إلى الحديد الممغنط.

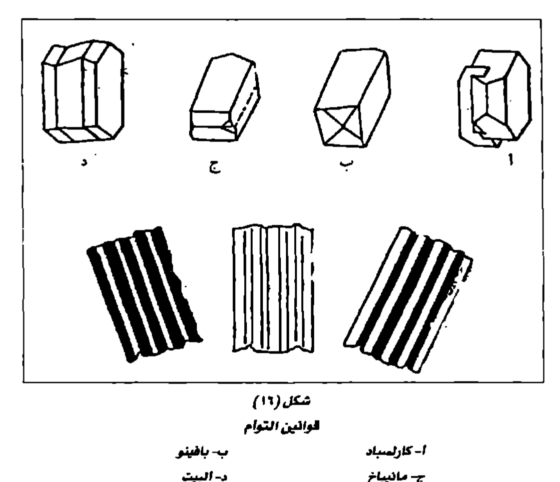
- **التضوء Luminescence**

عندما يتوهج المعدن أو يضىء ولا يكون ذلك ناتجا عن عملية التوهج الحرارى، يقال عن هذا المعدن إنه متضوئ، وتحدث هذه الظاهرة نتيجة لتعرض المعدن للأشعة فوق (فوت) البنفسجية. وتنتج هذه الظاهرة أيضا من تعرض المعدن للأشعة السينية وأشعة الكاثود أو الإشعاع المنبثق من المواد المشعة. أما إذا تَضَوَّأَ المعدن خلال مدة تعرضه للأشعة فوق البنفسجية أو أى أشعة مشابهة فيقال إن هذا المعدن متفلور (مثل معدن شيليت، ويلميت). أما المعدن الذى يدوم تضوؤه بعد زوال المؤثر فيقال عنه متفسفر.

- **التوأمية Twinning**

هناك بعض البلورات التى تتكون الواحدة منها من جزئين أو أكثر تتجه فى اتجاهات مختلفة، لكنها ترتبط بعضها مع بعض عبر مستوى يسمى مستوى التوأم. وإذا كانت البلورة تتكون من جزئين فقط، سميت توأما بسيطا، ويمكن مشاهدة ذلك فى بعض أنواع الجرانيت حيث توجد فيه بلورات معدن الأرثوكليز

المتوأمة. ويخضع معدن الأرثوكليز المتوأم لثلاثة قوانين فى توأمته هى«كارلسباد»، «بافينو» و «مانيباخ» (شكل ١٦). والبلاجيوكليز (نوع آخر من الفلسبار) له توأمة متكررة طبقا لقانون «ألبيت»، وهناك التوائم الاختراقية وخير مثال عليها شكل الحديد المتصالب لمعدن البيريت، حيث تلتئم (تلتحم) البلورات إلى حد ما بواسطة الأوجه المتبقية لمستوى واحد من مستويات توأمتها. وبالطبع فإن التوأمية لا تدرس إلا تحت المجهر البترولوجى.



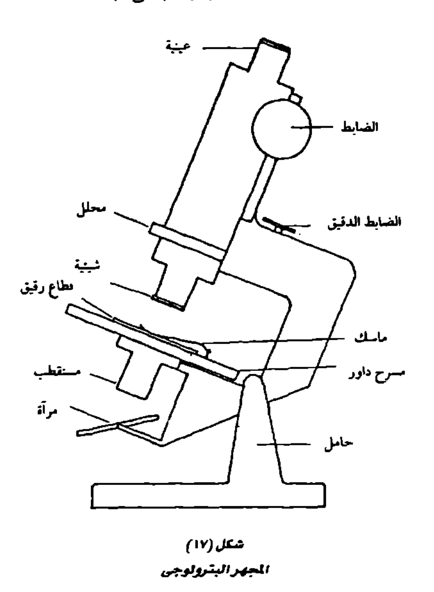
شكل (١٦)
قوانين التوام

أ- كارلسباد   ب- بافينو
ج- مانيباخ   د- البيت

٤- المجهر البترولوجى Polarizing Microscope

يحتاج دارسو الجيولوجيا إلى تعلم كيفية استخدام الميكروسكوب البترولوجى، (شكل ١٧) وهذا الجهاز يجعل الدارس قادرا على رؤية عينات المعادن تحت الضوء العادى وتحت الضوء المستقطب (يحصر تذبذب الضوء فى

مستوى معين) كما هو الحال فى النظارات الشمسية المستقطبة وكذلك بين المرشحين المستقطبين. إن استخدام أنواع مختلفة من الإضاءة يجعل الطالب قادرا على تحديد المعادن الموجودة فى الصخر بدقة. وبالمناسبة فإن قطعة من الصخر التى تبدو كثيبة وغير ملفتة للنظر لو قطعت إلى شرائح رقيقة ونُظِر إليها فى الضوء المستقطب تحت الميكروسكوب، فإنها ستبدو غاية فى الجمال.



شكل (١٧)
المجهر البترولوجى

٥- المعادن عديمة التبلور Amorphous Minerals

معظم المعادن توجد فى صورة متبلورة، إلا أن بعضها يفتقد الحالة البلورية، وهذه يطلق عليها اسم مواد لا متبلورة، ومعظم المواد اللامتبلورة مواد صلبة،

ومواد زجاجية، مثال ذلك الأوبال وقد يطلق على هذه الفئة أحيانا اسم أشباه المعادن.

٦- المعادن المكونة للصخور Rock Forming Minerals

يوجد حوالى ٢٠٠٠ معدن تقريبا فى القشرة الأرضية، من بينها عدد قليل يشكل أكثر المعادن شيوعا، وهذه تكون الجزء الأكبر من أكثر الصخور المنتشرة وتسمى المعادن المكونة للصخور. معظم هذه المعادن من السليكات؛ وهى مركبات تنتج من ارتباط السليكون والأكسجين. وبعض أنواع المعادن المكونة للصخور مذكورة بالصفحات القادمة، ويوجد فى آخر الكتاب فى الملحق أ قائمة بصفاتها الفيزيقية المهمة.

أ- الفلسبارات feldspars

تشكل معادن الفلسبارات أهم مجموعة فى تكوين الصخور، وهى مجموعة واسعة الانتشار، حتى أنها تكَون حوالى ٦٠٪ من المعادن المكونة لصخور القشرة الأرضية. وتوجد الفلسبارات فى جميع أنواع الصخور النارية تقريبا، وتوجد كذلك فى الصخور الرسوبية والمتحولة (الأنواع المختلفة للصخور مشروحة فى الفصول: الثالث والرابع والخامس من هذا الكتاب).

ومن الناحية الكيميائية فمعادن الفلسبار هى سليكات للألومنيوم مع عنصر أو عنصرين آخرين قد يكون البوتاسيوم، الصوديوم، الكالسيوم أو فى النادر الباريوم. والمعدنان الأساسيان فى مجموعة معادن الفلسبارات هما الأرثوكليز والبلاجيوكليز.

• الأرثوكليز orthoclase

معدن من معادن الفلسبارات البوتاسية الشائعة، ويمكن التمييز بينه وبين البلاجيوكليز بعدم وجود البنية الشريطية. ومعدن الميكروكلين معدن آخر تركيبه سلكيات الألومنيوم والبوتاسيوم وتركيبه الكيميائى ($K\,Al\,Si_3\,O_8$) مثل الأرثوكليز. ومع ذلك فإن كلا منهما يتبلور فى نظام بلورى مختلف، ويختلف كل منهما عن الآخر فى صفات فيزيقية عديدة. وغالبا ما يكون للأرثوكليز توأم

بسيط، طبقا لقانون من ثلاثة قوانين توأمية هي كارلسباد - بافيتو - مانيباخ. ويوجد معدن الأرثوكليز في بلورات كبيرة الحجم في صخر الجرانيت.

● البلاجيوكليز **plagioclase**

يعرف أيضا باسم البلاجيوكليز الصودى، ويوجد في كثير من الصخور النارية وفي بعض الصخور المتحولة. ويظهر البلاجيوكليز في ألوان لها مدى لونى واسع من الأبيض إلى الأصفر إلى اللون الرمادى المائل إلى الاحمرار إلى اللون الأسود. ويوجد ضربان من معادن البلاجيوكليز هما «ألبيت حجر القمر ولابرادوريت» ويتميزان بوميض داخلى لونه أبيض إلى زرقة (عرض الألوان)، وتسمى هذه الخاصية باسم الأوبالية.

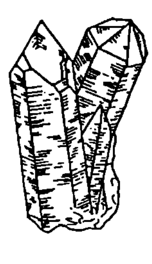
وللفلسبارات قيمة تجارية معتبرة، فيستخدم الأرثوكليز في صناعة الصينى والخزف ومساحيق الصقل. كذلك تستخدم الفلسبارات في صناعة الأصباغ والطلاء بالمينا والزجاج. وتستخدم فلسبارات البلاجيوكليز في الصناعة بدرجة أقل من الفلسبارالبوتاسى، لكن بعضها يستخدم في صناعة الحراريات (السيراميك).

ب- الكوارتز quartz

يعد معدن الكوارتز من أكثر المعادن انتشارا في القشرة الأرضية. ويشكل المعدن جزءا مهما من تركيب الصخور النارية، كما أنه معدن شائع في كثير من الصخور الرسوبية والمتحولة. وقد يوجد الكوارتز مرتبطا مع بعض المعادن الأخرى التى تكون الصخور، لكنه قد يكون المكون الرئيسى الوحيد في تكوين بعض الصخور مثل الحجر الرملى النقى والكوارتزيت.

ويتكون الكوارتز النقى من السليكا (SiO_2) أساسا، وهى الأكسيد الوحيد للسليكون، لكن بعض ضروب الكوارتز تحتوى على شوائب مثل الحديد والمنجنيز. وهذه الشوائب هى المسببة لتلون الكوارتز بألوان مختلفة في ضروبه العديدة. ويوجد معدن الكوارتز متبلورا على هيئة تجمعات بلورية أو على هيئة حبيبات أو كتل غيرمتظمة. ويستخدم المصطلح «مستر(خفى) التبلور» للتعبير عن ضروب معدن الكوارتز التى تكون فيها البلورات دقيقة جدا ولم تتحدد بعد.

ويتبلور معدن الكوارتز فى نظام السداسى، وعادة يكون لبلورته ستة أوجه، وتنتهى البلّورة بأهرامات طرفية (شكل ١٨).



شكل (١٨)
بلورات كوارتز كاملة لها نهايات هرمية الشكل

ويعض أشهر أنواع معدن الكوارتز هى الجمشت، الكوارتز اللبنى، الكوارتز الوردى، البلّور الصخرى، وكذلك الكوارتز المدخن. وضروب الكوارتز الكتلى الذى لا توجد به أشكال بلورية. والكوارتز الخفى التبلور تشمل العقيق والخلقدونى والظران (التشرت) والصوان والجاسبر. ويوجد الكوارتز فى كل الصخور تقريبا ومعظم أنواع الرمال تتكون أساسا من كُسارة الكوارتز. وتستخدم بلورات الكوارتز فى صناعة بعض الأجهزة الإلكترونية الخاصة مثل مذبذبات الراديو. وهناك ضروب أخرى من معدن الكوارتز تستخدم فى صناعة الزجاج الذى تصنع منه العدسات والمنشورات الزجاجية. وهناك أنواع أخرى من معدن الكوارتز تعد من الأحجار شبه الكريمة. وفى بعض الحالات يكون ضربا معينا مشهورا بإقليم معين، مثلا ضرب الكوارتز المصبوغ بالمنجنيز، والذى تقوم عليه صناعة خاصة فى جزيرة شانيل. ويستخدم الحجر الرملى فى أغراض البناء بينما تستخدم رمال الكوارتز فى صناعة الصنفرة (مواد السحج) وفى عمل الخرسانة والزجاج.

جـ- الميكا Mica

تتميز مجموعة معادن الميكا بوجود التشقق الكامل القاعدى (ويسمى تشقق ميكائى). وتتميز الميكا بسهولة التعرف عليها، حيث إنها توجد فى هيئة أوراق رقيقة لامعة مرنة.

والميكا، مثل الفلسبارات، هى سليكات للألومنيوم، وتتميز بأن لها صيغة كيميائية معقدة. وليس للميكا غير ضربين اثنين هما الأكثر أهمية، أحدهما المسكوفيت والآخر البيوتيت؛ ويعدان من المعادن المهمة المكونة للصخور. ومع ذلك فإن الفلوجوبيت والليبدوليت يعدان أيضا من معادن الميكا الشائعة نسبيا.

• المسكوفيت Muscovite

يعرف المعدن باسم الميكا البيضاء أو الميكا البوتاسية وهى شفافة عادة وتوجد على هيئة بلورات رقيقة مسطحة مرنة وهى مكون شائع لبعض أنواع صخور الجرانيت والبجماتيت (انظر الفصل الثالث)، وتوجد أيضا فى بعض أنواع الصخور المتحولة والرسوبية.

وتعد الهند وروسيا (إذ ترجع التسمية "مسكوفيت" إلى اسم مدينة موسكو) وأمريكا أكبر البلاد المنتجة للمسكوفيت. ويمكن رؤية بلورات المسكوفيت اللامعة الصفائحية فى الصخور الجرانيتية عالية الحموضة كما فى مقاطعتى ديفون وكورنوال ببريطانيا.

وتستخدم الميكا مسكوفيت فى صناعة الأجهزة الكهربائية والملابس والأشرطة العازلة ودروع المصابيح الكهربائية لحمايتها، والمشحمات، وصناعة الألوان، وكذلك فى صناعة أشجار عيد الميلاد المستخدمة كزينة فى المناسبة الخاصة بها.

• البيوتيت (الميكا السوداء) Biotite

معدن شائع جدا ويوجد مخالطا للمسكوفيت. وتوجد فى أنواع متعددة من الصخور النارية والمتحولة على هيئة صفائح رقيقة أو ألواح سوداء لامعة. ومعدن البيوتيت لونه بنى أدكن يميل إلى اللون الأسود، وفى بعض الأحيان يكون ذا لون أخضر، وهو مكون من سليكات معقدة التركيب للألومنيوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد. وباستثناء اللون الأسود، فإن الصفات الفيزيقية للبيوتيت تماثل تماما الصفات الفيزيقية للمسكوفيت. وعلى العكس من المسكوفيت، فإن معدن البيوتيت له قيمة تجارية محدودة للغاية. وقد كان البيوتيت هو المعدن الذى رآه أول رواد فضاء هبطوا على سطح القمر. واعتقدوا أنهم تعرفوا عليه حينما نظروا إلى أول صخر قمرى شاهدوه.

د- البيروكسينات Pyroxenes

تتكون مجموعة البيروكسينات من سليكات معقدة، وهى من أكثر مجموعات المعادن المكونة للصخور شيوعا. وأكثر معادن البيروكسينات انتشارا هو معدن الأوجيت، وهو مكون معروف وشائع للكثير من الصخور النارية الدكناء اللون. وتوجد البيروكسينات أيضا فى أنواع معينة من الصخور المتحولة.

- **الجاديت Jadeite**

يوجد فى نيوزيلندا وفى أماكن أخرى وهو أحد اثنين من ضروب معدن "الجاد" وهو حجر كريم.

هـ- الأمفيبولات Amphiboles

مجموعة معادن الأمفيبولات من المعادن الشائعة المكونة للصخور وهى شديدة القرابة لمجموعة معادن البيروكسينات، نظرا لتشابههما الكبير لدرجة أنه يسهل الخلط بينهما. ومن ناحية التركيب الكيميائى فمعادن الأمفيبول تتركب من سلكيات معقدة تحتوى على المغنسيوم والكالسيوم والحديد.

- **الهورنبلند Hornblende**

أكثر معادن الأمفيبول شيوعا ويوجد مكونا أساسيا فى الصخور النارية والمتحولة.

- **الأكتينوليت والتريموليت Actinolite and Tremolite**

معدنان مهمان من معادن الأمفيبول، وبعض علماء المعادن يصنفونهما على أنهما معدنان مستقلان متباينان، وعلماء آخرون يعتبرون أنهما معدن واحد ويسمونه سلسلة التريموليت - الأكتينوليت.

ويوجد المعدنان على هيئة بلورات طويلة منشورية وشكلها مثل نصل السكين، أو بلورات إبرية لها هيئة معدن الأسبستوس. ويستخدم التريموليت الإبرى بدلا من الأسبستوس فى عمليات العزل الحرارى ومقاومة الحريق. ويجب ألا يحدث لبس بين الأسبستوس - تريموليت وبين السربنتين أو الكريزوتيل - أسبستوس والمعدن الأخير هو الأكثر استخداما فى الصناعة.

الهيئة الأخرى من «الجاد» هى النِّفريت، وهو من معادن مجموعة الأمفيول. ويوجد أيضا «عين النمر» الذى يستخدم فى الزينة. وهناك ضرب آخر من الأمفيول هو الريبيكيت ويوجد فى جنوب أفريقيا.

و- الكالسيت Calcite

يتركب معدن الكالسيت من كربونات الكالسيوم (Ca CO3)، وهو أكثر أفراد مجموعة الكالسيت شيوعا، ويوجد فى كثير من الصخور الرسوبية والمتحولة، وهو المكون الأولى لمعظم الأحجار الجيرية (انظر الفصل الرابع). ويوجد الكالسيت فى الصورة المتبلورة والحبيبة أو الكتل الطباشيرية، وكذلك فى هيئة عروق معدنية، وفى الكهوف وفى رواسب الينابيع، وأيضا فى أصداف حيوانات معينة(الشعاب المرجانية والقواقع والمحاريات).

والكالسيت يحدث فورانا مع حمض الهدروكلوريك المخفف البارد؛ وهذا اختبار مفيد للتعرف على معدن الكالسيت وبعض المعادن الأخرى. وبعض أشكال الكالسيت تكون (متفلورة)، بينما البعض الآخر يكون شفافا رائقا. وبلورات معدن الكالسيت لها خاصية الانكسار المزدوج، حيث يظهر أى جسم خلال البلورة كما لو كان جسمين (انظر شكل ١٩) وأكثر ضروب الكالسيت شيوعا هو الأيسلندسبار، وأسبار أسنان الكلب والطباشير والترافرتين (بما فيه التوفا الجيرية والصواعد والهوابط التى تتكون فى الكهوف). والكالسيت هو المكون الرئيسى للأحجار الجيرية والرخام، ويستخدم فى صناعة الأسمنت والجير والمصيص وكمادة مصهرة فى

شكل (١٩)
بلورة كالسيت معينية لها خاصية الانكسار المزدوج

عمليات صهر خامات الحديد. كذلك يستخدم أحجارا للبناء والزينة، وأيضا فى صناعة الزجاج والألوان والمخصبات. وهناك ضروب شفافة من معدن الكالسيت تستخدم فى صناعة الأجهزة البصرية وبخاصة فى المنشورات المستقطبة للضوء.

ز- الدولوميت Dolomite

مركب من كربونات الكالسيوم وكربونات المغنسيوم $CaCO_3 . MgCO_3$ ويشيع الدولوميت فى الصخور الرسوبية، حيث يوجد مختلطا بالكالسيت عادة. وقد يوجد متحدا مع كثير من الخامات المعدنية والعروق المعدنية وفى فجوات بعض الصخور النارية. ويختلف الدولوميت عن الكالسيت فى أنه أكثر صلادة منه (صلادته ٣,٥)، كذلك فإن درجة تأثره بالأحماض المخففة الباردة تكون متوسطة، وقد تكون لبلوراته أوجه بلورية ذات أسطح منحنية. وأكثر استعمالات الدولوميت تكون فى أغراض البناء (معظم الرخام يتكون من الدولوميت)، ويستعمل كذلك فى صناعة الأسمنت كمصدر للمغنسيوم.

وسمى الدولوميت نسبة إلى عالم الچيولوچيا والمعادن الفرنسى الشهير جوى دولوميو (١٧٥٠ - ١٨٠١). وهناك طبقة من الحجر الجيرى المغنيسى غنية بالدولوميت تمتد من نوتنجهام حتى ساحل دورهام بإنجلترا.

ح- الفلوريت Fluorite

يتكون الفلوريت من فلوريد الكالسيوم ($Ca F_2$)، ويوجد فى ضروب مختلفة الألوان تتدرج من الشفاف حتى الأسود الحالك. وهو معدن شائع الوجود. وفى بريطانيا، يستخرج الفلوريت بكميات اقتصادية فى منطقة ويرديل (دورهام) وفى منطقة كاسلتون (ديربى شاير). وأكبر الدول المنتجة للفلوريت هى أمريكا، ويستخدم الفلوريت فى صناعة الطلاء والزجاج وفى صناعة حمض الهدروفلوريك. ويوجد ضرب من الفلوريت لونه أزرق قرمزى يعرف باسم «أزرق - جون» ويوجد فقط فى منطقة كاسلتون، وتصنع منه المجوهرات وأوانى الزهور.

ط- الأراجونيت Aragonite

الأراجونيت مثل الكالسيت، يتكون من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، لكنه يختلف عن الكالسيت فى كونه أقل ثباتا وفى أنه يتبلور فى نظام المعينى القائم. ويوجد الأراجونيت معدنا ثانويا فى فراغات الحجر الجيرى؛ وكراسب حول الينابيع الحارة؛ كما يوجد فى رواسب الكهوف وفى أصداف بعض الحيوانات

مثل المحاريات والشعاب المرجانية. ومع أن الأراجونيت لا يوجد بوفرة مثل الكالسيت، إلا أنه يستخدم فى الأغراض نفسها.

ى- الجبس Gypsum

المعدن الشائع جدا والمعروف باسم «الجبس» يتكون من كبريتات الكالسيوم المائية($Ca\ SO_4 .2H_2O$)، وينتج عن عملية التبخر. ويوجد الجبس على هيئة رواسب سميكة فى منطقة مدلاند الإنجليزية، ومن أكثر ضروب معدن الجبس شيوعا السلينيت Selenite والستانسبار Stain Spar والألبستر Alabaster وصخر الجبس.

ومعدن الجبس له أهمية اقتصادية عظيمة، ويستخدم بكثرة فى صناعة المصيص وتغطية الجدران الداخلية، وفى صناعة المخصبات الزراعية وكذلك فى صناعة الأسمنت البورتلندى والأصباغ والزجاج والحراريات (السيراميك) وكذلك فى صناعة الطباشير. وتعزى جودة صناعة مشروب البيرة فى منطقة بورتون - أنْ - ترنت إلى احتواء الماء المستخدم على نسبة من معدن الجبس - ويستخدم ضرب الألبستر فى صناعة التماثيل كما يستخدم حجرا للزينة.

ك- الأنهيدريت Anhydrite

مع أن معدن الأنهيدريت يماثل الجبس من الناحية الكيميائية، إلا أن الأنهيدريت ($Ca\ SO_4$) أكثر صلابة وأثقل وزنا نوعيا ويتبلور فى نظام المعينى القائم (بينما يتبلور الجبس فى نظام أحادى الميل). وعند تسخين الأنهيدريت تظهر ألوان متغلورة من الأصفر إلى الأخضر أو الأزرق إلى الأبيض.

ويوجد الأنهيدريت فى صخور القمة لبعض قباب الملح، كما يوجد فى طبقات واسعة الانتشار فى منطقة "بلنجهام" فى "دورهام" بإنجلترا حيث يتم استخراجه كمادة خام للصناعات الكيميائية. ويستخدم أيضا فى صناعة الأسمنت والمخصبات وبدرجة أقل حجرا للزينة.

ل- الهاليت Halite

يسمى عادة «الملح الصخرى» وتركيبه الكيميائى كلوريد الصوديوم ($Na\ Cl$). وتتكون كميات كبيرة من الهاليت نتيجة لعمليات البخر فى البحار

الداخلية لما قبل التاريخ. وخلال فترة البخر، فإن طبقات من معادن مختلفة ترسب طبقا للتتابع التالى يتكون الكالسيت والدولوميت أولا، ثم يليهما الجبس والأنهيدريت، ثم الملح الصخرى. ويلى ذلك الأملاح الأكثر ذوبانا فى الماء. ولوحظ هذا التتابع فى رواسب ستراسفورت فى ألمانيا حيث تكرر مرات عديدة نتيجة للاختلاف فى مناخ وظروف ما قبل التاريخ. ولهذا فتوجد اليوم مجموعة من المعادن المهمة جدا فى هيئة طبقات كتلية.

ويوجد منجم واحد للملح، فى منطقة «شيشاير» بإنجلترا (لإنتاج الملح الصخرى الذى يستخدم لمعالجة الجليد المتكون على الطرق)، لكن الأكثر شيوعا للحصول على الملح العادى هو ضخ الماء فى طبقات الملح التى تذوب مكونة ماء ملحيا، يترك ليتبخر بعد ذلك، حيث يحصل منه على الملح.

تعد بريطانيا والهند من بين ست دول فى العالم تنتج أكثر من مليون طن من الملح سنويا. وإلى جانب الاستخدامات المنزلية للملح، فإنه حيوى للصناعات الكيميائية، كصناعة الزجاج والصابون والصناعات الفلزية. وزيادة على ذلك، فإن الكلور الذى يحصل عليه من الملح يستخدم لتنقية الماء وكعامل للتبييض (القصر).

ويختلف الملح عن باقى الصخور فى أنه حينما يتعرض للضغط لا يتشقق أو ينثنى (ينطوى)؛ لكنه ينساب. وتوجد مشالح الملح فى إيران، والقباب الملحية التى تكونت نتيجة لانبثاق الملح فى مناطق الضعف من القشرة الأرضية، تؤدى إلى ظروف مثالية لتكوين البترول، وهذه الظاهرة ترى بوضوح فى المناطق الساحلية فى تكساس ولويزيانا بالولايات المتحدة الأمريكية.

م- الكاولين Kaolin

ربما يُعرَف أكثر باسم الصلصال الصينى، والكاولينيت معدن أبيض ناعم قد يكون شحميا، ويتكون نتيجة لتحلل الصخور المحتوية على الفلسبار. ويتكون الكاولين أساسا من سليكات الألومنيوم المائية المعروفة باسم كلولينيت ($Al_2O_3 . 2SiO_2 . 2H_2O$). وحينما يبلل الكاولينيت يصبح لدنا وقابلا للتشكيل

فى أيدى الخزاف. كذلك فله خاصية غيرعادية وهى الالتصاق باللسان. وعندما يتنفس الإنسان على سطح معدن الكاولين، تظهر رائحة ترابية مثل رائحة الصلصال.

وربما تكون رواسب «كورنيش» الكاولينية بإنجلترا، قد تكونت من صخور جرانيتية نتيجة لفعل الهواء على الفلسبار (عمليات بنيوماتوليتية). وبالرغم من كون الكاولين معدنا للألومنيوم، إلا أنه لا توجد بعد طريقة اقتصادية لاستخلاص الألومنيوم منه. والاستخدام الأساسى للكاولين فى صناعة الخزفيات (السيراميك)، ويستخدم كذلك فى صناعة الألوان والورق والمطاط.

ن- السربنتين Serpentine

السربنتينات هى مجموعة معقدة من سلكيات المغنسيوم المائية، صيغتها العامة ($3MgO . 2Si_2O_2 . 2H_2O$). وتوجد عادة فى كتل مندمجة ذات ملمس شحمى أو صابونى والشكل العام من السربنتين له لون أخضر إلى أسود، مبرقش ومتعرق بألوان أخرى بيضاء أو غيرها ومن ثم اشتق الاسم أما «الفرد أنتيكو» أو «رخام السربنتين» فهو معرق به معادن بيضاء مثل الكالسيت والدولوميت. ونظرا لانه قابل جدا للصقل والتلميع فإن هذا الصخر يستخدم كثيرا فى أغراض التكسية وأعمال الزخرفة.

وهناك صناعة نشأت حول منطقة لزارد فى كورنوول بإنجلترا لتمد السياح بمجوهرات ليست غالية الثمن وأيضا بمجوهرات الشباب، وذلك باستغلال ضروب السربنتين المختلفة فى هذه الصناعات.

س- الكريزوتيل Chrysotile

ضرب من السربتين وهو المعدن الأساسى للأسبستوس.

ع- الكلوريت Chlorite

تتكون مجموعة الكلوريت من سليكات معقدة للألومنيوم والمغنسيوم والحديد مرتبطة مع الماء. هذه المعادن تكون خضراء غالبا وتشبه الميكا وتوجد عادة فى كتل حرشوفية أو متورقة، وقد توجد على هيئة بلورات نضدية أو سلامية الشكل. ومجموعة الكلوريت مكون أساسى فى كثير من الصخور النارية والمتحولة

٧- المعادن الفلزية أو معادن الخامات Metallic or Ore Minerals

تعد الفلزات من أكثر المنتجات القيمة التي عرفها الإنسان، وهذا هو سبب اهتمام الجيولوجيين الكبير بالمعادن الفلزية ومعادن الخامات. وتوجد المعادن الفلزية في رواسب الخامات والكتل الصخرية، والتي يمكن الحصول منها على الفلزات بكميات تجارية.

وعادة توجد مع خامات المعادن القيمة مجموعة من المعادن الأقل قيمة وتسمى المعادن الغثة، ولابد أن يفصل المعدن الغث عن المعادن الأكثر قيمة.

وفيما يلي وصف لبعض الفلزات المعروفة

(أ) الألومنيوم Aluminium

أحد أهم الفلزات في الصناعة، ويستخلص أساسا من البوكسيت bauxite، وهو خليط من شكلين من أكاسيد الألومنيوم «دياسبور» diaspore $(Al_2O_3 . H_2O)$ و«جبسيت» gibbsite $(Al_2O_3 . 3H_2O)$. ويوجد البوكسيت في هيئة كتل ترابية تشبه الصلصال، أو في أشكال بازلائية (شكل حبات البازلاء) على هيئة درنات مستديرة في وسط صلصالي.

ونظرا لأنه فلز خفيف ويقاوم عمليات التآكل وقوي نسبيا، فإنه يستخدم في كل أنواع الصناعات تقريبا، من صناعة هياكل الطائرات إلى صناعة الأدوات المنزلية وأدوات الزينة. وهو موصل جيد للحرارة والكهرباء، ولهذا فهو يستخدم بديلا عن النحاس الأغلى ثمنا في الصناعة المتصلة بهذه الأغراض. ومع أن الألومنيوم هو أكثر الفلزات شيوعا، إذ يكون ٨٪ من القشرة الأرضية، إلا أنه لا يوجد في الشكل المناسب لاستغلاله، وكما ذكرنا سابقا أن الكاولين هو المصدر المحتمل للالومنيوم فإن طفلة - الشب في منطقة وايتباي Whitby في يوركشير بإنجلترا، قد أنتجت الألومنيوم لكن بكميات قليلة اقتصاديا، والدليل على ذلك محاجره المهجورة هناك.

(ب) النحاس Copper

أضاف النحاس الكثير إلى تنمية الحضارة. ويوجد النحاس أساسا في الصخور النارية أو في عروق الخامات، وينتشر في أماكن كثيرة من العالم.

وبالرغم من وجود معادن مختلفة للنحاس (وصف منها حوالى ١٦٥ ضربا)، إلا أننا سوف نشرح فقط أكثرها أهمية من الناحية الاقتصادية

• النحاس الحر Native Copper (Cu)

يوجد النحاس الحر على هيئة كتل غير منتظمة أو صفائح فى أنحاء مختلفة من العالم. والكالكوبيريت $CuFeS_2$ المعروف باسم بيريت النحاس، واسع الانتشار فى كثير من الصخور، وهو الخام الرئيسى للنحاس. ويوجد على هيئة كتلية فى أشكال صفراء نحاسية تماما، ويوجد فى مناطق من بينها كورن وول Cornwall بإنجلترا. ويوجد فى أستراليا أيضا. ويختلف الكالكوبيريت عن البيريت (كبريتيد الحديد) فى لونه الأكثر دكانة، وفى أنه أكثر ملاسة، وفى كونه قصيف جدا، وهذه الصفة تستخدم للتميز بينه وبين الذهب الذى يكون غالبا قابلا للطرق. ومع ذلك ففى بعض المناطق، قد يحمل الكالكوبيريت الذهب والفضة معه.

• الكالكوسيت Chalcocite Cu_2S

يوجد الكالكوسيت متناثرا عادة فى الصخر المضيف، ولهذا السبب يطلق عليه اسم نحاس فيرفيرى، ويوجد أيضا على هيئة رواسب العروق، ومهما يكن الخام منخفض الرتبة، لكنه يستخلص اقتصاديا وبسهولة. ويوجد الكالكوسيت بكميات تجارية فى أميركا وغيرها.

• الأزوريت Azurite

يعرف الأزوريت ($2CuO_3 . Cu (OH)_2$) أيضا باسم تشيسيليت chyssylite، ويتميز بلونه الأزرق اللازوردى وبميله للفوران فى الأحماض. وتوجد كربونات النحاس عادة فى هيئة كتل ناعمة أو غير منتظمة، وتوجد عادة مع المالاكيت (انظر فيما بعد). وقد تنمو على هيئة بلورات نضدية، ذات لون أزرق عميق (أدكن) تتبلور فى نظام أحادى الميل، وتستعمل - مثل المالاكيت - حجرا للزينة وأيضا مصدرا هاما للنحاس. وتوجد فى منطقة ردروث فى كورن وول. ويرجع تسميتها تشيسيليت نسبة إلى منطقة توجد فى فرنسا.

• الملاكيت $CuCO_3 . Cu(OH)_2$

بالرغم من أن معدن الملاكيت له نفس التركيب الكيميائي لمعدن أزوريت، لكنه يميز عنه بلونه الأخضر الزاهي وبلون حكاكته الأخضر الفاتح (النالل). والملاكيت أكثر شيوعا من الأزوريت ويوجد عادة في عروق معدنية في الحجر الجيري، وهو خام آخر مهم للنحاس، واستخدم لمدى محدود في لناعة أدوات المائدة وأواني الزهور وأعمال الزينة الأخرى. ومثل الأزوريت، يوجد الملاكيت في منطقة «ردروث» في كورنوول بإنجلترا، لكن أكبر راسب له يوجد في سيبيريا، وأستراليا (منجم بيورابيورا)، وفي كاتنجا في جمهورية الكنغو (الكونجو).

هناك خامات هامة أخرى للنحاس، وتستعمل تجاريا وتشمل

١- كوبريت cuprite (الأكسيد الأحمر) ويستخرج في كورنوول وأستراليا.

٢- بورنيت bornite (خام لحم الحصان) ويستخرج من كورنوول وألمانيا.

٣- كريزوكولا chrysocolla ويوجد أيضا في كورنوول وفي أستراليا (بالقرب من أديليد) وفي كاتنجا وزامبيا.

(ج)الذهب Gold

نظرا لجماله الشديد ووجوده في لورة حرة، وأنه لا يتخلص من الخام بعمليات ميتالورجية معقدة، لذا عرف الإنسان قيمته منذ فجر التاريخ. وفكرة أن الذهب غال نظرا لندرته تمثل مفهوما خاطئا، ففي الواقع أن الذهب يتشر في أماكن كثيرة حول العالم (حتى في مياه البحر). والذهب الحر native gold (Au) يوجد في عروق الكوارتز، ومصاحبا لمعدن البيريت Pyrite (الذي يشابهه). وذهب طمى الفيضان alluvial gold يوجد في منطقة كورنوول وأسكتلندا. والذهب المستخرج من شمال ويلز تصنع منه خواتم الزفاف للأسرة المالكة البريطانية، لكن إنتاج بريطانيا من الذهب لا يعد كبيرا إذا ما قورن بإنتاج جنوب أفريقيا والاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة وكندا أو أستراليا.

(د)الرصاص Lead

أهـم مصـدر للرصـاص هى الجالينا (PbS) التى توجد فى أنواع كـثيرة من الصخـور، تشمل الصـخور النارية والرسـوبية والمتـحولة. وقـد يوجد كـبريتـيد الرصـاص كراسب إحـلال فى الحجـر الجيـرى أو فى جـيوب مـركزة فى أمـاكن محددة.

وتوجد الجـالينا عادة مـختلطة بالنحـاس والزنك والفضـة، وبعض من هذه الخامات قد تـوجد بكميات كافيـة مما يجعلها مربحة تجاريا. والجـالينا معدن ناعم الملمس لونه رمـادى، أشبـه بالرصاص نفـسه. ومـعظم إنتـاج العالم من الجـالينا يستخرج من أميركا واستراليا (خاصة عند بروكن هل Broken Hill ونيوسوث ويلز New South Wales. ولقد نشأت فى الماضى صناعة مهمة فى بريطانيا فى مناطق كـورن وول وكمـبرلاند ودربى شـاير وجـزيرة مان واسـكتلندا، حيث وجـدت كمـيات كافيـة من الجاليـنا. خـام آخر للرصـاص هو سيـروسـيت cerussite ($PbCO_3$)، وخام ثالث هو إنجلزيت anglesite (كبريتات الرصاص $PbSO_4$) وهو مصـدر قيم لبعض الـرصاص، ويوجد فى أجـزاء عديدة من بريطانيـا مثل منجم بوريس Porys Mine، ويوجد أيضا فى أستراليا. ويـستخدم الرصـاص فى صناعة الألوان والأصـبـاغ (فى شكل الرصـاص الأبيض) وفلزات الطبـاعـة، والأنابيب والمراكم، وأشابات (سـائك) اللحام، وسبائك الفلزات، والمواد الدرعية للوقاية من النشـاط الإشعاعى والأشعة السينية.

(هـ)الزئبق - Mercury

أكثر خامـات الزئبـق شيوعـا هـو السـنابـار cinnabar (المعروف باسم الفضة السريعة quicksilver)، وتركيـبه كبريتيد الزئبقيك HgS. وبالرغم من وجوده فى أماكن قليلة نسـبيا، إلا أن السـنابار يوجد فى الصخـور البركانية والصخور الرسـوبية وبالقـرب من الينابيع الحارة. ويوجـد فى صورته المثـالية على هيـئة كتل تـرابية أو تجمـعات جيـبية دقـيقـة لونها أسـود. والزئبق الحر (native) قد يوجـد أيضا فى قطيرات فضـية صغيرة فى رواسب معـينة للسـنابار. وتعد أسبانيا أكبر منتج للسنابار فى العالم، لكن إيـطاليا هى الأخرى منتج كـبير نسـبيا. وينتج السـنابار أيضا فى أميركا ويستخرج كذلك من أستراليا ونيوزيلندا.

والحقيقة التى تقول بأن الســنابار قد ترسب من مياه الينابيع الحارة دليل على تكونه فى صخور الثلاثى البركانية .

ويرتبط الزئبق مع معظم الفلزات ليكون «الملغم» ويستخدم ملغم النحاس فى حشو الأسنان. والزئبق مهم فى صناعة المفرقعات وفى صناعة الأجهزة العلمية مثل الترمومترات والبارومترات.

(و)الفضة Silver

هذا معدن آخر عرف الإنسان قيمته، وقد توجد الفضة فى صورة الفضة الحرة (Ag)، وتكون عادة صدئة، إما متناثرة فى الصخور أو فى صورة عروق معدنية. والأرجنتيت Ag_2S، وهو كبريتيد الفضة يعد أكثر خامات الفضة شيوعا، وقد يوجد مع الفضة الحرة وبعض الفلزات المعدنية الأخرى.

ويوجد الأرجنتيت عادة فى صورة كتلية أو فى صورة قشرية، وقد تتكون منه بلورات مكعبية. وتعد المكسيك أكبر منتج للفضة فى العالم، وتليها الولايات المتحدة، وتأتى كندا فى المرتبة الثالثة.

وتنتج النرويج (كونجسبرج Kongsberg) وبيرو وأستراليا (بروكنهل ونيوسوث ويلز) ومناجم مونت إسا وكوينزلاند، كميات معقولة من الفضة.

وتستخدم الفضة فى صناعة العملة والمجوهرات وأدوات المائدة، وتستخدم أيضا فى طلاء المعادن والتصوير والصناعات الكيميائية والإلكترونية.

(ز)القصدير Tin

الخام المهم الوحيد للقصدير هو الأكسيد(كاستيرايت SnO_2) أو «حجر القصدير tinstone». وبالرغم من انتشاره الواسع بكميات قليلة، إلا أنه يوجد بكميات تجارية فى الصخور النارية، حيث يختلط عادة بالكوارتز والتوباز والجالينا والتورمالين.وكان الرومان يستخرجون القصدير فى كورنوول.أما فى الوقت الحالى، فإن معظم إنتاج العالم من القصدير يأتى من الملايو وبوليفيا واندونيسيا. ويستخدم القصدير فى أعمال الطلاء (تبطين المعلبات أحد الاستعمالات الرئيسية للقصدير)، وفى سبائك اللحام، وفلزات الطباعة، ورقائق القصدير، والخلط بالنحاس لصناعة البرونز.

(ح) الزنك Zinc

هذا فلز آخر من المجموعة التى لها أهمية اقتصادية، والخام الأولى له هو الزنكبلند أو الاسفاليرايت (ZnS). وهو معدن يشبه معدن الجالينا فى نشأته ووجوده الذى يوجد مختلطا به عادة. ويوجد فى العروق المعدنية فى الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، وكرواسب إحلال فى الحجر الجيرى. وتعد الولايات المتحدة وكندا والمكسيك وبيرو وأستراليا الدول الأساسية المنتجة للزنك.

ويستخدم الزنك فى جلفنة الصلب، وفى صناعة الألوان والنحاس الأصفر. ومستحضرات التجميل، وفلزات الطباعة وصناعة البطاريات الجافة وفى أغراض أخرى متعددة.

(ط) الحديد Iron

ربما يكون الحديد هو أهم الفلزات الأساسية على الإطلاق، ويمكن الحصول على الحديد من كثير من المعادن تشمل الهيماتيت والمجنتيت والليمونيت.

والهيماتيت؛ أكسيد الحديديك (Fe_2O_3)؛ هو أحد أكثر المعادن شيوعا فى العالم؛ ويوجد فى طبقات كتلية سوداء وفى صخور الشيست المتورقة، وهو فى الأصل رسوبى النشأة، ومعظم الرواسب الحديدية تغيرت وتحللت وحدثت لها عملية إثراء بفعل المحاليل الأرضية .

ومعدن الهيماتيت استخلص فى أجزاء عديدة من بريطانيا؛ من غابة دين Forest of Dean (جلوسترشاير) وكمبرلاند. وأضخم الرواسب توجد فى كندا فى منطقة البحيرات العظمى Lake Superior. والمجنتيت magnetite وتركيبه Fe_3O_4 يجذبه المغنطيس بشدة، وتوجد ضروب من المجنتيت تعمل عمل المغنطيس وتعرف باسم لودستون lodestone. وتوجد كميات ضخمة من هذه الرواسب فى المناطق الإسكندنافية وفى أميركا.

والليمونيت limonite هو اصطلاح يستخدم للدلالة على مجموعة مختلطة من هدروكسيدات الحديد؛ صيغتها الكيميائية على وجه التقريب $Fe_2O_3 . x H_2O$.

وتوجد فى كتل ترابية أو فى كتل مدمجة، وهى من خامات الحديد الشائعة نسبيا، وتوجد فى أسبانيا وكوبا، ويشيع وجودها فى خامات الحديد البريطانية من الدور الجوراسى.

والبيريت pyrite «أو الذهب الخادع»، معدن للحديد يستخدم بقلة كمصدر لفلز الحديد، وهو كبريتيد الحديد (FeS_2)، ويوجد مختلطا بعدد من الخامات المختلفة، منها النحاس والذهب. ومعدن البيريت يعد مصدرا قيما للكبريت ويستخدم فى صناعة حمض الكبريتيك.

ويوجد الحديد الحر native iron، فى جيانت كوزواى Giants Causeway بإنجلترا فى النيازك وفى أماكن أخرى. ومعدن السيدريت siderite $FeCO_3$ معدن عروق مهم يستغل فى ألمانيا ومعدن الماركزيت marcasite FeS_2 يوجد فى درنات صخور الطباشير، ويستخدم كحجر شبه كريم فى صناعة المجوهرات.

(ى) النيكل Nickel

يستخدم النيكل على نطاق واسع فى السبائك (الأشابات) لصناعة العملة وفى الصناعات الكهربائية وهو مثل الحديد يمكن مغنطته.

• البنتلنديت pentlandite

هو الخام الأساسى للنيكل وتركيبه (Fe , Ni)S. وأضخم الرواسب التى اكتشفت حتى الآن توجد فى سيدبرى Sudbury وأونتاريو Ontario. وفى ديسمبر ١٩٦٩، وبعد اكتشاف احتياطيات كبيرة من النيكل فى وندورا Windorra بأستراليا، ارتفع سعر الأسهم بطريقة لم يسبق لها مثيل فى شركة بورسيدون للمناجم.

(ك) الكوبالت Cobalt

توجد خامات الكوبالت عادة مع خامات الحديد والنيكل. ويستخرج معدن إسمالتيت ($CO\ AS_2$) من كورنوال، وأونتاريو وكتانجا وزامبيا. يستخدم الكوبالت فى الصناعات الكيميائية وكصبغ هام فى صناعة الألوان والحراريات. وتصنع المغنطيسات بصفة دائمة من أشابات الكوبالت تقريبا.

(ل) الكروم Chromium

الخام الوحيد المهم للكروم هو الكروميت ($FeCr_2O_4$). ومن أكبر الدول المنتجة للكروم روسيا وروديسيا والهند. والكروم مادة مهمة لتبطين الأفران اللافحة. ويستخدم فلز الكروم نفسه فى الطلاء بالكروم وفى صناعة الصلب الذى لا يصدأ.

(م) المنجنيز Manganese

يوجد المنجنيز عادة مع الكوبالت وما يختلط به. ويوجد على هيئة أكاسيد متعددة للخام، منها البيرولوسيت pyrolusite والبسيلوميلين psilomelane. وتعد روسيا والهند المصدران الرئيسيان لهذه الخامات. وللمنجنيز قيمة عظيمة فى صناعة الأشابات (السبائك) alloys وبخاصة فى صناعة الصلب.

(ن) المغنسيوم Magnesium

يوجد بكثرة فى أماكن كثيرة من العالم، وهو ثامن العناصر وفرة فى القشرة الأرضية. ويستخلص المغنسيوم الفلزى بالطرق الكهربائية من الكارناليت carnallite ($KCl . MgCl . 6H_2O$)، وكذلك من مياه البحر.

• المجنزيت magnesite

يوجد المجنزيت ($MgCO_3$) فى العروق المعدنية فى اليونان والهند، كذلك على هيئة معدن استبدالى فى صخور توجد فى النمسا وكندا. ويستخدم المجنزيت فى تبطين الأفران اللافحة وفى صناعة الأسمنت، وكذلك فى صناعة الورق والسكر.

• الدولوميت dolomite

أصبح الدولوميت $CaMg (CO_3)2$ مصدرا اقتصاديا مهما للمغنسيوم. ويوجد خامان آخران للمغنسيوم، تجدر الإشارة إليهما وهما إبسوميت epsomite (ملح ابسوم epsom salt $Mg SO_4 . 7H_2O$) الذى يستخدم فى صناعة الأدوية، ومعدن إسبينل spinel ($Mg Al_2O_4$) وهو حجر كريم يوجد فى سيلان Cylon وبورما Burma وتايلاند Thailand.

(س) اليورانيوم Uranium

فى هذا العصر المسمى بالعصر الذرى لعبت المعادن المشعة دورا متزايد الأهمية فى التكنولوجيا الحديثة. وبالرغم من وجود عدد من المعادن المشعة، فإن اثنين منها سوف نلقى عليهما الضوء نظرا لأهميتهما

اليورانينيت والذى يعرف أيضا باسم البتشبلند، هو المصدر الأساسى لليورانيوم والراديوم، وهو أكسيد معقد لليورانيوم. ويحتوى اليورانينيت على كميات ضئيلة من الثوريوم والرصاص والهليوم وكذلك عناصر نادرة معينة أخرى وقد يوجد اليورانينيت على هيئة مكون أولى فى بعض صخور الجرانيت والبجماتيت. ويوجد أيضا معدنا ثانويا مع خامات الرصاص والنحاس والفضة.

• كارنوتيت Carnotite

معدن ترابى مسحوق؛ وهو خام لليورانيوم والفاناديوم، ولذا يسمى فانادات يورانيل البوتاسيوم، وتركيبه الكيميائى $K_2 (UO_2)_2 (VO_4)_2.3H_2O$ ويوجد الكارنوتيت منتثرا فى الصخور الرسوبية المجواة، وخاصة فى الحجر الرملى. وتعد كاليفورنيا إحدى أكبر المناطق المنتجة للكارنوتيت، كما أنه يوجد فى أستراليا وفى مناطق أخرى من العالم.

٨- المعادن اللافلزية أو الصناعية Non - Metallic or Industrial Minerals

تشتمل هذه المجموعة على المعادن التى لا تحتوى على فلزات معينة أو المعادن التى تستخدم لاحتوائها على نسبة معينة من فلز ما، وتضم هذه المجموعة الفحم، والنفط، والكبريت، والمخصبات، وأحجار البناء، والأحجار الكريمة. وفيما يلى وصف لبعض من هذه المعادن والمنتجات التى استخلصت منها

• مواد السحج Abrasives

هى مواد تستخدم فى صقل وسحج أو قطع المعادن الأخرى. والمعادن التى تستخدم فى هذه الأغراض هى الجارنت والألماس والكورندم وبعض ضروب معدن الكوارتز.

• الأسبستوس Asbestos

تستخدم بعض معادن السليكات الإبرية كمواد عازلة، ومواد ضد الحريق وفى صناعة البلاستيك، وفى تبطين الكوابح (الفرامل) وأكثر هذه المعادن أهمية هى الكريزوتيل، والكروسيدوليت والاكتينوليت - تريموليت.

• الأسمنت والجير والجبس Cement , Lime and Plasters

يتكون الحجر الجيرى أساسا من كربونات الكالسيوم، ويستخدم فى صناعة الأسمنت البورتلندى والجير الزراعى وكذلك فى أحجار البناء ؛ وكربونات الكالسيوم مادة مهمة جدا فى صناعة الصلب. والجبس، وهو كبريتات الكالسيوم يستخدم فى صناعة المصيص والطلاء وعجينة باريس.

• الصلصال Clay

تستخدم معادن الصلصال مختلطة مع بعض المعادن الأخرى مواد أساسية لصناعة الطوب والبلاط والفخار والصينى. وتستخدم معادن الصلصال فى صناعة الورق، ومشمع الأرضيات، والأسمنت وفى أعمال الأساسات أيضا.

وهناك أنواع خاصة من الصلصال تصنع منها القوالب الحرارية التى تستخدم فى تبطين الأفران والمحارق.

• معادن المخصبات Mineral Fertilizers

البوتاسيوم والنتروجين والفوسفور هى العناصر الثلاثة الأساسية التى تساعد على نمو النبات. ويعد صخر الفوسفات مصدرا قيما للفوسفور لما يحتويه من كمية كبيرة من معدن الأباتيت. أما السلفيت Sylvite فهو مصدر مهم لعنصر البوتاسيوم والنترات الطبيعية لإمداد النبات بما يحتاجه من عنصر النتروجين ومعظم معادن المخصبات تستخرج من شيلى. وهناك معادن ومواد أخرى تستخدم فى صناعة المخصبات مثل الحجر الجيرى الأرضى والجلوكونيت والجبس والبوراكس ويتزايد الآن استخدام الأنهيدريت.

• الملح Salt

الهاليت هو ملح الطعام الشائع، ويستخدم كثيرا فى الصناعات الكيميائية مصدرا أساسيا لمركبات الصوديوم وكذلك للكلور (ولكن بدرجة أقل). ويستخدم

الملح فى عمليات دبغ الجلود وتحضير الأطعمة وأنواع خاصة من المواد التى تساعد على التجمد. هذا قليل من الكثير من فوائد هذا المعدن المهم والذى كان دائما مهما بالنسبة للإنسان.

• **الكبريت Sulphur**

يوجد هذا المعدن الأصفر اللافلزى، فى الصخور البركانية وحول العيون الحارة ويرتبط مع القباب الملحية. وينتج الكبريت أساسا من صخور القمة cap rocks للقباب الملحية فى ولايتى تكساس ولويزيانا فى الولايات المتحدة، بينما تنتج جزيرة صقلية وأماكن أخرى من العالم كميات من الكبريت، لكن بدرجة أقل. ويستخدم الكبريت ومركباته فى صناعة الورق وحمض الكبريتيك ومسحوق البارود والثقاب والمبيدات الحشرية وفى صناعة الدواء. كذلك يستخدم الكبريت فى عملية فلكنة المطاط.

وتحتوى الينابيع المعدنية فى منطقة هاروجيت Harrogate وتشلتنهام Cheltenham، و «باث» Bath على كبريتيد الهدروجين (H_2S) والذى تشبه رائحته رائحة البيض الفاسد. ولوجود كبريتيد الهدروجين وبعض المعادن الأخرى فى الينابيع المعدنية، يعتقد أن لها فوائد صحية للمتعبين وكبار السن.

الفصل الثالث

الصخور النارية والبركنة

IGNEOUS ROCKS AND VOLCANISM

الصخور النـارية هي تلك الصخور التي تصلبت من حالة منـصهـرة أصلا. واشتقت الكلمة من أصل لاتينى ومعناها النار ignis، وكثير من الصخور والمعادن الموجودة عند أعمـاق بعيدة فى داخل الأرض توجد فى صورة منصـهرة نظرا لشدة الحرارة المتزايدة فى الأعمـاق. والصهارة هى أجسام كبيـرة من الصخور توجد فى حالة منصـهرة ومدفونة فى أعمـاق الأرض. وفى بعض الأحيان، قد تـتدفق مواد الصهارة خارج سطح الأرض، ومثال ذلك انـسياب اللابة من البركان وتـسمى هذه المواد الصهارية التى تتصلب فوق سطح الأرض باسم الصخور البركانية أو الطفحية أو النابطة. وفى ظروف أخرى، قد لا تجد الصـهارة طريقا لها إلى سطح الأرض، لكنها تشق طريقها متدخلة فى صخور أخرى حيث تبرد وتتجمد.

وهذه الصخـور المتدخلة تكون مـا يـسمى بالصـخور المتدخلة أو البـلوتونية intrusive وتتمـيز الصـخور النارية عن الصـخور الرسـوبية والصـخور المتـحولة بنـسيجها وبنيتها ومحتواها المعدنى، وعدم احتوائها على حفريات.

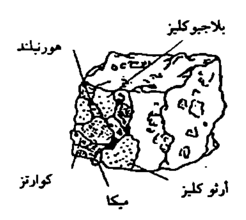
١- الصخور المتدخلة أو البلوتونية Intrusive or Plutonic Rocks

تكونت هذه الصـخور نتـيجة لـتجمـد خليط معـدنى منصهـر تحت سطح الأرض، وكلما ازداد العـمق الذى تحدث عنده عمليـة التجمـد، كان معدل فـقد الحرارة بطيئا، وبالتالى تتكون صخور تتميز بأنـسجة غليظة من بلورات معدنية كبيرة الحجم نـسبيا. وعلى النقيض من ذلك، فالصـخور التى تبرد بسرعة أكبر؛ حيث أنها تكون أكثر قربا من سطح الأرض، يكون لها نسيج دقيق.

ويعتمد نسيج الصخر النارى أساسا على شكل وحجم وطريقة ترتيب الحبيات المكونة للصخر. ونظرا لطبيعة التزاحم الذى تتكون عنده جسيمات المعدن، فإن المعادن تبدو زاويّة أو ذات شكل غير منتظم. وفيما يلى وصف لبعض أنواع الصخور النارية البلوتونية (الجرانيت والجابرو والبريدوتيت والسيانيت والديوريت):

• الجرانيت Granite

أكثر أنواع الصخور النارية البلوتونية غليظة التحبب انتشارا هو الجرانيت (شكل ٢٠) والجرانوديوريت والأبليت والبجماتيت والميكروجرانيت. ويتردد قطر البلورات عموما فى هذه الصخور بين ٠٦٣ ,٠ من البوصة ونصف البوصة، لكن بعض أنواع الجرانيت ذات البنية الفرفيرية، يوجد فيها بوضوح عدد من البلورات الكبيرة. مثال ذلك جرانيت شاب Shap Granite، توجد فيه بلورات كبيرة من الأرثوكليز، وردية اللون يسهل التعرف عليها بوضوح، وهناك جلاميد كبيرة من «جرانيت شاب» توجد على شاطئ خليج روبين هود، يوركشير بإنجلترا على بعد ٨٠ كيلو مترا تقريبا من «شاب» حيث جلبها الجليد إلى هناك على هيئة صخور هائمة، وتقزمت هذه البلورات بالنسبة للبلورات العملاقة (قطرها ٢٠ قدما أو أكثر من ذلك) والتى وجدت فى صخور البجماتيت فى النرويج، وفى الميكا فى جنوب أفريقيا.



شكل (٢٠)

جرانيت، صخر نارى جوفى، غليظ التحبب

ويتكون الجرانيت أساسا من معادن الكوارتز والفلسبار والميكا أو الهورنبلند، ويحتوى الأبليت aplite على نسبة عالية من فلسبار الأرثوكليز ويوجد فى عروق الجرانيت، كذلك صخور البجماتيت ذات الحبيبات الأكثر غلظا، ويوجد أيضا فى الجدد والصخور الإقليمية. والميكروجرانيت وهو من الصخور الجرانيتية دقيقة التحبب وتوجد أحيانا عند حافات المتدخلات البلوتونية، وكذلك يوجد الميكروجرانيت فى الصخور البركانية التابطة. وعندما تزداد نسبة البيوتيت (معدن أدكن من معادن الميكا) فى صخر الجرانيت يصبح اسمه جرانوديوريت.

وصخر الجرانيت ناصل اللون عادة، وقد يكون أبيض أو رماديا أو ورديا أو بنيا ضاربا إلى الاصفرار. وبالرغم من أن الحبيبات المفردة يمكن رؤيتها بوضوح، فإنها تلتحم بعضها مع بعض لتكون صخرا صلبا ثابتا. ويمكن صقل صخر الجرانيت ليستخدم أحجارا للبناء والزينة، وفى الأبنية الضخمة التذكارية، وأكثر الأنواع شهرة فى هذا المجال هما جرانيت شاب Shap Granite ودارتمور Dartmoor. ولقد كان أصل الجرانيت ونشأته مثارا للجدل فى الآراء بين الجيولوجيين، فكثير من صخور الجرانيت قد تكون نتيجة لبرودة الصهارة وتصلبها عند أعماق كبيرة ولهذا تسمى الصخور النارية البلوتونية (الجوفية) plutonic igneous rocks. وهذه قد تكونت نتيجة الذوبان الانتقائى لطبقة السيال Sial. وتجدر الإشارة إلى أن صخور الجرانيت توجد بالتحديد فى المناطق القارية. وتصاحب صخور الجرانيت غالبا الصخور المتحولة، ومن المعلوم أن أى صخر يمكن أن يتحول إلى صخر الجرانيت إذا أتيح له الوقت الكافى؛ وهذه عملية تسمى الجرنتة granitzatiom ويعتقد أنه بتأثير الحرارة والضغط، تصبح صخور القشرة منصهرة، وهكذا تكون الجرانيت المتحول. وهناك جدل كثير ثار حول الجرانيت، وهل هو نارى الأصل أو متحول وقد اتفق العلماء على أن النوعين موجودان.

• الجابرو Gabbro

الجابرو صخر نارى كثيف الوزن النوعى، أدكن اللون، يتكون من حبيبات غليظة من فلسبار البلاجيوكليز والأوجيت، ولا يوجد معدن الكوارتز فى صخر

الجابرو إلا فى ضرب واحد منه وهو جابرو الكوارتز quartz gabbro. وفى صخر الجابرو تكون بلورات المعادن دكناء عادة فتتخذ اللون الرمادى والأخضر الأدكن أو الأسود.

• البريدوتيت Peridotite

تسود فى هذا الصخر المعادن الدكناء، ويسمى أيضا بيروكسينيت pyroxinite. والكمبرليت kimberlite صخر بريدوتيتى يتكون من البيروكسين والأوليفين. وهذا الصخر مشهور بالأعداد الكبيرة من بلورات الألماس التى استخلصت منه فى منطقة كمبرلى Kimberley فى جنوب أفريقيا.

• السيانيت Syenite:

يشبه السيانيت صخر الجرانيت، لكنه أقل شيوعا فى وجوده ويحتوى على نسبة قليلة من معدن الكوارتز، أو لا يحتوى عليه بالمرة. وإذا وجد الكوارتز فى السيانيت، يسمى سيانيت الكوارتز quartz - syenite. ويتكون الصخر أساسا من الفلسبار البوتاسى مع بعض الميكا أو الهورنبلند. وتتميز صخور السيانيت بأن معادنها ذات بلورات صغيرة، وبأن لها أنسجة مستوية.

• الديوريت Diorite

يوجد صخر الديوريت غالبا فى الجدد المتشعبة من صخور الجرانيت. ويتميز الديوريت بغلظ حبيباته، ويشبه الجرانيت فى كثير من صفاته ما عدا عدم احتوائه على معدن الكوارتز.

٢- الصخور النابطة أو البركانية Extrusive or Volcanic Rocks

تكون الصخور النابطة من الصهارة التى تجد طريقها إلى خارج سطح الأرض حيث تبرد وتتجمد. مثل هذه الصخور قد تتدفق من فوهات البراكين، أو من الشقوق العظيمة فى القشرة الأرضية.

وبالإضافة إلى اللابة السائلة، فإن جسيمات صلبة مثل الرماد البركانى أو القنابل البركانية، قد تقذف خارج البركان أثناء ثورانه، وعندما تصل الصهارة إلى

سطح الأرض فإنها تفقد ما بها من غازات وتبدأ فى التبرد السريع نسبيا ؛ وهذا يمنع النمو البطىء للبلورات مما يؤدى إلى تكون النسيج الدقيق التبلور الذى لا يمكن رؤية بلوراته بالعين المجردة أو بدون أداة مكبرة. وفى بعض الحالات، قد تبرد الماجما بسرعة، لدرجة أنها لا تسمح بتكون بلورات، وبالتالى يتكون الزجاج البركانى، وبعض أنواع الصخور النابطة الأكثر شيوعا هى الفلسيت والبازلت والحجر الخفاف (النشف) والأبسيديان.

• الفلسيت Felsite

يطلق اسم فلسيت على الصخور النارية ذات النسيج الدقيق جدا. ويشمل صخور الريوليت الزجاجى glassy rhyolites التى تتدرج إلى حجر البتشتون pitchstone والأبسيديان. وتشبه صخور التراكيت trachytes والأنديزيت andesites فى تركيبها صخور السيانيت syenites والديوريت diorites على الترتيب. وتجدر الإشارة إلى أن كلمة دقيق (fine) تختص بوصف البلورات بذاتها والتى تكون ناصلة اللون ولا يمكن رؤيتها بطرق التكبير الزجاجية العادية. ويتردد لون الفلسيت من الأبيض إلى الرمادى الناصل أو الرمادى المعتاد، وقد يتخذ لونا يميل إلى اللون الوردى أو اللون الأحمر أو اللون الأخضر أو القرمزى أو الأصفر.

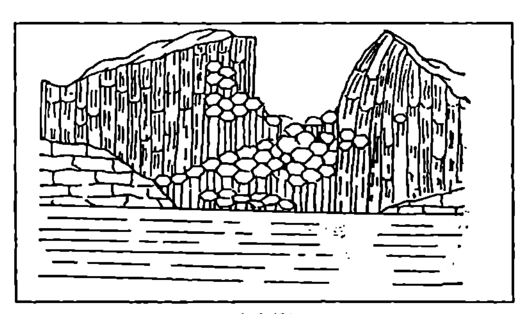
ويحتوى الفلسيت عادة على الكوارتز والأرثوكليز والبيوتيت. وهى نفس المعادن التى توجد فى صخور الجرانيت وهو صخر نارى بلوتونى (جوفى)، لكن صخر الجرانيت يكون نسيجه أكثر غلظا بينما الفلسيت دقيق التبلور تماما. وهنا يمكن القول إن الصهارة نفسها التى تحتوى على الكوارتز والأرثوكليز والبيوتيت، تبرد عند مسافات مختلفة من سطح الأرض وتنشأ منها صخور لها نفس التركيب الكيميائى، لكن يكون لها مظهر فيزيقى مختلف.

• البازلت Basalt

هذا هو أحد أكثر الصخور النارية النابطة شيوعا فى العالم. وصخر البازلت لونه رمادى أدكن أو أخضر أدكن أو بنى أو أسود ووزنه النوعى ثقيل عادة. وتتميز صخور البازلت بأن لها نسيجا دقيق التبلور. ويتكون البازلت أساسا من

البيروكسين والبلاجيوكليز وفى بعض الأحيان يحتوى على الأوليفين أيضا. وتتميز بعض أنواع البازلت بوجود عدد كبير من الفجوات والفتحات التى تدل على أن فقاعات غازية كانت موجودة من قبل، ويسمى هذا الصخر سكوريا Scoria ، وهو شائع فى الانسيابات اللابية المتصلة. ومع مرور الزمن قد تملأ هذه الفجوات والفتحات ببعض المعادن مثل الكوارتز أو الكالسيت وتتخذ مثل هذه المعادن التى تملأ هذه الفجوات شكل اللوز، ولذلك تسمى «ملوزات» ويسمى البازلت الذى يحتوى على عدد كبير من هذه الأشكال اللوزية الشكل باسم البازلت «المُلَوّز»، كذلك قد تنتج معادن ذات بلورات دقيقة. ويمكن مشاهدة صخور البازلت فى أماكن كثيرة من بريطانيا مثل Midland Valley فى اسكتلندا وهى صخور يرجع عمرها إلى الدور الكربونى. وتوجد فى الهند وفى الجزء الشمالى الغربى للولايات المتحدة الأمريكية انسيابات بازلتية عظيمة تغطى مساحة ٢٠٠ ألف ميل مربع (٥١٢ ألف كم^{٢}) وتمتد إلى عمق آلاف الأقدام.

ويتميز البازلت بالبنية العمدانية المنفصلة (شكل ٢١) وتنشأ هذه الظاهرة نتيجة لتبرد الصخر وتقلصه وانكماشه ثم انفصاله إلى أعمدة رأسية. وهذه الظاهرة يمكن مشاهدتها بوضوح فى جيانتس كوزواى Giants Causeway وفى كونتى أنتريم County Antrim، بشمال ايرلندا ويكهف فنجالز Fingals Cave عند جزيرة ستافا Staffa وفى جزر هبريدس Hebrides.



شكل (٢١)

التمفصل العمدانى فى البازلت

وتستخدم صخور البازلت فى رصف الطرق وبعض أغراض الإنشاءات الأخرى، نظرا لصلادتها العالية. وبالإضافة إلى ذلك، فقد اكتشفت كميات كبيرة من خامات النحاس فى رواسب البازلت المُلَوّزة amygdalaidal .

• النشف (حجر الخفاف) Pumice



شكل (٢٢)
الحجر الخفاف
نوع من الصخور النارية السطحية

يتكون الحجر الخفاف (البوميس) عندما تتصلب اللابة وتخرج منها الأبخرة والغازات على هيئة فقاعات فى نفس وقت تصلبها. ويتكون الحجر الخفاف من التبرد السريع وتجمد المواد البركانية. ويتميز بوجود عدد كبير من الفراغات الصغيرة التى تعطى للصخر مظهرا مشابها للإسفنج. وللحجر الخفاف (شكل ٢٢) وزن نوعى خفيف، وتحبس فيه فراغات تمتلئ بالهواء، مما يجعله يطفو فوق الماء. وتقذف فى البحار كتل من الحجر الخفاف أثناء ثوران البراكين الجزيرية وتطفو هذه الكتل لمسافات بعيدة عن مصدر انطلاقها.

ويتميز الحجر الخفاف بلونه الناصل. ومع أنه يميز بسهولة من مجرد مظهره، إلا أن له نفس التركيب الكيميائى مثل الجرانيت والأبسيديان. ويوجد الحجر الخفاف حيثما كان النشاط البركانى موجودا فى أى مكان من العالم. ويستخدم حجرا للسحج وفى صناعة الصابون والمنظفات وكذلك فى بعض أنواع محاة المطاط rubber erasers .

• الأوبسيديان Obsidian

يعرف باسم الزجاج البركانى، وهو صخر نارى نابط زجاجى، برد بسرعة كبيرة، بحيث لم تكن هناك فرصة لتكوين ونمو أى بلورات معدنية. والأبسيديان صخر لامع زجاجى، لونه أسود أو بنى ضارب إلى الاحمرار. ويتميز الصخر بمكسر محارى ذى حافات حادة (شكل ٢٣) وقد استخدم هذا الصخر قديما فى

عهد الإنسان الأول فى صناعة رؤوس الأسهم والرماح والسكاكين وبعض الأدوات الأخرى. ويتكون الأوبسيديان نتيجة التبرد السريع لانسيابات اللابة على سطح الأرض. ويوجد فى أماكن عديدة من العالم، أشهرها مونت هكلا Mount Hecla فى جزيرة أيسلندا والمتنزه الوطنى National Park فى وايومنج Wyoming (حيث كان يستخدمه الهنود لصناعة الرماح ورؤوس الأسهم).



شكل (٢٣)
ابسيديان

٢- أنسجة الصخور النارية

Textures of Igneous Rocks

يعد النسيج **texture** صفة فيزيقية تميز الصخور النارية، ويتأثر النسيج بمعدل تبرد أو تبلور الصهارة. وكما يختص النسيج بوصف الشكل العام لأى صخر، فإنه يختص ويتحدد أكثر بدراسة شكل وحجم وترتيب معادن السليكات فى الصخر النارى. ويوصف الصخر بأنه حبيبى إذا كانت حبات معادنه كبيرة إلى القدر الذى يمكن رؤيتها وتعرفها بالعين المجردة، ويوصف فى هذه الحالة أيضا بأنه جرانيتى النسيج. وإذا كانت حبيبات المعادن فى الصخر صغيرة جدا ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، يوصف نسيج الصخر فى هذه الحالة بأنه لا مرئى aphanitic أما الصخور ذات النسيج الزجاجى مثل صخر الأوبسيديان **obsidian**، فتبدو كأنها مكونة من زجاج. وهناك صخور نارية تبدو كأن لها نسيجين مختلطين ؛ هذا الضرب من الأنسجة يسمى النسيج الفرفيرى porphyritic، ويتميز هذا



شكل (٢٤)
فرفير يوضح بلورات كبيرة فاتحة اللون فى ارضية دكناء

النسيج بوجود بلورات كبيرة نسبيا تسمى البلورات الكبيرة phenocrysts تحاط بأرضية(خلفية) من بلورات أصغر (شكل ٢٤). ويعتقد أن صخر البورفيريت porphyrite يمثل طورين مميزين من البرودة والتصلب. وتكون الصخور البلوتونية (الجوفية) التى تتبرد بمعدل بطىء جدا، بلورات يتردد طولها بين بوصات عديدة إلى أقدام عديدة. ويسمى هذا الصخر الغليظ النسيج باسم البجماتيت pegmatite وهذا النسيج يميز ضروبا معينة من صخور الجرانيت.

٤- التركيب الكيميائى للصخور النارية

Chemical Compositiom of Igneous Rocks

يعتمد نوع الصخر النارى الذى يتكون من الصهارة أو اللابة على التركيب الكيميائى لمواد الصهارة الصخرية الأصلية أساسا، وعلى ذلك تقسم الصخور النارية إلى:

أ- الصخور النارية الحمضية Acidic Igneous Rocks

تحتوى هذه الصخور النارية على نسبة عالية من السليكا وتعرف باسم الصخور الحمضية أو السيالية sialic؛ واشتق اسم سيالية من الرمز الكيميائى "Si" للسليكون و "Al" للألومنيوم. وتحتوى هذه الصخور على محتوى عال من السليكا وفلسبار الصوديوم - البوتاسيوم، وتحتوى على نسبة قليلة نسبيا من الحديد والمغنسيوم والكالسيوم. والصخور النارية الحمضية ناصلة اللون ووزنها النوعى خفيف، وهى أكثر الصخور النارية شيوعا ومن أمثلتها صخور الجرانيت والريوليت والحجر الخفاف «النشف».

ب- الصخور النارية القاعدية Basic Igneous Rocks

هى الصخور التى تحتوى على نسبة منخفضة من السليكا low - silica content، وهذه صخور دكناء اللون ولها وزن نوعى ثقيل نسبيا. وتعرف باسم الصخور القاعدية أو «السيماتية» (نسبة إلى السليكون والمغنسيوم)، ونظرا إلى محتواها القليل من السليكا ومحتواها العالى من المعادن (الحديدومغنيسية) مثل

البيوتيت والأوليفين والبيروكسين والهورنبلند. وتوجد الصخور القاعدية أسفل الصخور الحامضية فى القشرة الأرضية، ويعتقد أنها تكون معظم الجزر البركانية وأنها تكون جزءا كبيرا من أرضيات المحيطات العميقة. ومن أمثلة هذا النوع من الصخور الجابرو والبازلت.

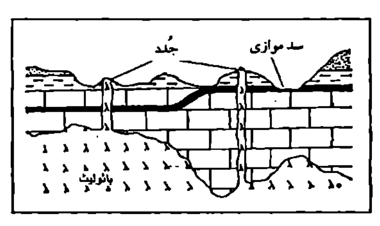
ويوجد تدرج متعدد بين الصخور الحمضية والصخور القاعدية وهناك عينات مختلفة يقع تركيبها وسطا أو انتقاليا بين التركيب الحامضى والتركيب القاعدى.

٥- أشكال أجسام الصخور النارية Forms of Igneous Rocks bodies

تتدخل الصخور النارية المتدخلة intrusive فى الصخور التى تجاورها أو تحقن فيها، ويحدث هذا التدخل أو الحقن عند أعماق بعيدة عادة. وبالتالى فإن أجسام الصخور النارية المتدخلة يمكن رؤيتها بعد زوال الصخور التى تعلوها بواسطة عملية التحات وفيما يلى وصف لبعض الأنواع الشائعة من الصخور النارية الجوفية:

- **الجدد القاطعة Dykes**

الجدد القاطعة هى كتل من الصخور النارية، نضدية الشكل أو فى شكل الجدار تقطع مستويات التطبق فى الصخور الرسوبية عندما تخترقها (شكل ٢٥). وتتكون الجدد القاطعة عادة عندما تحقن الصهارة فى الشقوق والفواصل الموجودة فى الصخور. ويتردد حجمها بين أقدام قليلة وأميال كثيرة فى امتداداتها.



شكل (٢٥)

المتدخلات النارية

ويشيع وجود الجدد القاطعة فى المناطق البركانية وتصاحب فى العادة الفوهات البركانية. ومن الأمثلة المهمة للجدد القاطعة فى بريطانيا وربما تكون أشهرها هى تلك الموجودة فى كليفلاند Cleveland فى يوركشير وتتكون من صخر الدوليريت ويزيد سمكها على ٣٠ قدما. وفى بعض الأماكن الأخرى، مثل جزيرة آران عند الشاطئ الغربى لأسكتلندا، توجد الجدد القاطعة فى حشود، وفى أماكن أخرى مثل منطقة مل Mull (شاطئ أسكتلندا الغربى)، تظهر الجدد على هيئة حلقات حول كتل نارية كبيرة.

• الجدد الموازية Sills

هذه أجسام من الصخور النارية ذات أشكال نضدية وتنتشر أفقيا على هيئة ألواح بين طبقات الصخور أو رقائقها. وتختلف عن الجدد القاطعة فى الصخور النارية توازى مستويات التطبق فى الصخور، ومن أكثر أمثلة الجدد الموازية شهرة، الجدد الموازية فى منطقة وين سيل Whin Sill والتى تمتد فى شمال إنجلترا وجنوب أسكتلندا، والتى استخدمها هادريان كأساس لجزء من جداره. وهناك أمثلة أخرى للجدد الموازية فى جزيرة آران تصاحب الجدد القاطعة هناك، ويبلغ سمك أكبر جدة موازية ألف قدم، وهى التى توجد فى جرف باليساد Palisade المطل على نيويورك.

• اللاكوليثات Laccoliths

هى أجسام عدسية الشكل أو تشبه فطر عش الغراب وهى تدخلات نارية لها أسطح سفلية مستوية نسبيا وأسطح علوية منحنية إلى أعلى أو قبابية. وتتدخل اللاكوليث بين مستويات التطبق وتختلف عن الجدد الموازية فى أنها أكثر سمكا عند المركز وتصبح أرق قرب أطرافها - ومثل هذا التدخل يعطى شكلا يشبه التل القبابى. ومن الأمثلة التى توضح شكل اللاكوليث ما يوجد فى منطقة كورندون فى شروبشاير Shropshire.

• الباثوليثات Batholiths

هذه هى أكبر الأجسام النارية المتدخلة، وهى أجسام غير منتظمة الشكل وتغطى آلافا من الأميال المربعة. وتمتد أجسام الباثوليث خلال الأرض

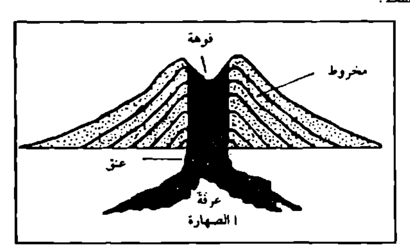
لمسافات كبيرة، ويزداد امتدادها بزيادة العمق. ومن الأماكن المهمة التى انكشفت فيها أجسام الباثوليث على سطح الأرض مناطق دارتمور Dartmoor: وكارنجورمز Caringorms، وأسكتلندا Scotland، وجبال مورن Mourne Mountains.

• الجذوع Stocks

هذه الأجسام النارية تشبه الباثوليث، لكنها تغطى مساحات أقل من ٤٠ ميلا مربعا. ويعتقد أن الأجسام النارية التى فى بودمين مور Bodmin Moor، وكذلك التى فى لاندز إند Lands End وجزر سيلى Scilly Isles هى جذوع من نفس كتل الباثوليث العظيمة التى أدت إلى تكوين الباثوليث فى منطقة دارتمور Dartmoor.

• عنق البركان Volcanic Neck

يتكون عنق البركان حينما تتعرض القنوات الممتلئة باللابة لبركان منقرض للتحات. وعادة ما يكون عنق البركان له قطر أقل من الميل، ويكون العنق أشد مقاومة لعمليات التحات بالنسبة لما يجاوره من صخور، ولهذا يبدو صامدا وثابتا مثل العمود أو البرج؛ (شكل ٢٦) ومثال ذلك الأعناق البركانية التى تشاهد فى أسكتلندا كما فى Castle Rock فى أدنبره وكذلك فى شرق لوثيان East Lothian.

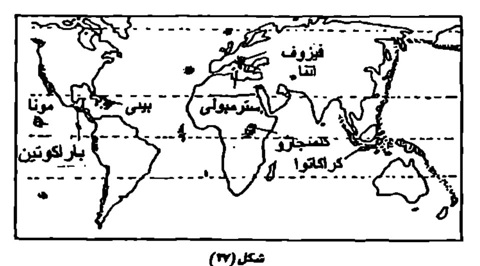


شكل (٢٦)
مخروط بركانى وفوهته

أهم الملامح التى تكون من الصخور النارية النابطة هى فيض اللابة، وعادة تكون لوحية الشكل. وهناك أنماط معينة من فيض اللابة مثل تلك الموجودة فى الهضبة اللابية الكولمبية Columbian Lava Plateau بين شمال جبال روكى وسلسلة الكاسكاد فى شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية والتى تغطى مئات الأميال المربعة، وتمتد إلى عمق ميل تقريبا.

وتنتشر فيوض اللابة فى أماكن أخرى من العالم كما فى بومباى (الهند)، وجزر هاواى، وبريطانيا.

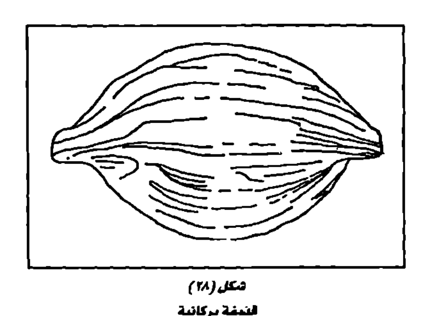
وقد يبدو غريبا أن الأعناق البركانية وفيوض اللابة وبعض الشواهد البركانية الأخرى توجد فى بريطانيا التى لا تقع فى حلقة النار (منطقة البراكين) (انظر شكل ٢٧) لكن هذه المناطق تمثل فقط الموقف الحالى فى أيامنا هذه. لكنه فى الماضى، كانت بريطانيا قد تعرضت للنشاط البركانى. وجدير بالذكر أن هذه السمات البركانية التى ذكرت سالفا كانت قد تكونت منذ أكثر من ٣٠٠ مليون سنة مضت فيما نعرفه باسم الدور الكربونى. كذلك يجب أن ننوه إلى أن آخر وقت تعرضت فيه بريطانيا للنشاط البركانى كان منذ ٥٠ مليون سنة تقريبا أثناء الدور الثالث Tertiary Period ، حينما نبطت اللابة البازلتية فى شمال أيرلندا والجزر الأسكتلندية (وسوف نتناول التغيرات التى طرأت على الأرض عند دراستنا للتاريخ الجيولوجى فى الفصل الثامن عشر).



شكل (٣٧)

المناطق البركانية حول العالم

بعض الانسيابات اللابية تصاحب البراكين، وبعضها الآخر ينتج من الانسيابات البركانية فى الشقوق ومعظم هذه الانسيابات تظهر التمفصل العمدانى بشكل نموذجى. بينما يتكون البعض الآخر من صخور السكوريا scoria الكتلية الخشنة. وبالإضافة إلى الفيضانات اللابية، تشتمل الصخور النارية النابطة على الرماد البركانى والمقذوفات البركانية، وهى أجسام كروية أو بشكل الكمثرى وتسمى القنابل البركانية (شكل ٢٨)، وتتكون حينما تقذف كتل لابية كبيرة من البركان وتدفع إلى أعلى بشدة وتتصلب فى الهواء.



شكل (٢٨)
قنيفة بركانية

٦- البراكين Volcanoes

البراكين هى فتحات فى القشرة الأرضية تخرج منها وتندفع صخور منصهرة ومواد بركانية أخرى. وتعد البراكين وكذلك الظواهر المرتبطة بها مثل الحرَات (العيون الحارة) والداخنات، من أكثر الظواهر التى يهتم بها الجيولوجيون ولقد ذكر الكثير عن النشاط البركانى فى الكتابات الأولى عن التاريخ. والبركان النموذج هو جبل مخروطى الشكل له فوهة قمعية الشكل عند قمته وتتصل الفوهة البركانية بحجرة الصهارة الموجودة تحت الأرض عن طريق عنق أو أنبوبة. وخلال فترة ثوران البركان، تتصاعد منه أبخرة وغبار ورماد وأحجار وصخور منصهرة (لابة).

وتقع غرفة الصهارة عند عمق كبير من سطح الأرض، وهى مستودع يحتوى على صخور منصهرة ملتهبة إما أن تتدخل فى صخور القشرة الأرضية، وإما أن تخرج إلى سطح الأرض.

• توزيع البراكين Distribution of Volcanoes

تظهر البراكين وكأنها تتركز فى أحزمة جغرافية محددة من القشرة الأرضية أو فى نطاقات معينة منها وتوجد هذه المناطق البركانية بكثرة فى مناطق عدم الاستقرار فى القشرة الأرضية أو حول مناطق النشاط الحديث لبناء الجبال وهذان النطاقان الأساسيان تكثر فيهما الصدوع والكسور العظيمة فى القشرة الأرضية وأكثرهما أهمية هو النطاق الباسيفيكى Pacific Zone ويقع على طول حدود المحيط الهادى، ويشمل هذا النطاق براكين شمال ووسط أمريكا، وألاسكا، وجزر أليشان Aleutian، واليابان، والفلبين، وشرق الأنديز . أما نطاق البحر المتوسط فيمتد فى اتجاه شرق -غرب ويشمل البراكين الموجودة فى حوض البحر المتوسط، وجزر الهند الغربية، وهاواى والأزور.

وبالإضافة إلى هذين النطاقين فهناك بعض البراكين فى مناطق المحيط الأطلنطى والمحيط الهادى، والمحيط الهندى، وأيسلاندا وكذلك فى القارة القطبية الجنوبية.

• نشاط البراكين Activity of Volcanoes:

بعض البراكين لايزال نشيطا، بينما البعض الآخر لم يثر خلال الأزمنة التاريخية Historic Times . وللتدليل على النشاط البركانى، قسمت البراكين إلى ثلاثة أنواع: نشيطة، وهاجعة وهامدة. والبراكين النشيطة هى التى تثور بصفة مستمرة أو تثور على فترات. ويسمى البركان غير النشيط الآن، لكنه كان يثور فى الألف سنة الماضية أو ما قارب ذلك، يسمى، بركانا هاجعا dormant. وهناك أمثلة كثيرة من هذا النوع مثل بركان فيزوف Vesuvius والذى ثار ثورانا عنيفا بعد قرون عديدة من عدم الثوران والخمول.

وبركان فيزوف الذى يقع بالقرب من مدينة نابولى فى جنوب إيطاليا، ترجع شهرته الكبيرة عندما ثار ثورانا رهيبا عام ٧٩ الميلادى ودفن مدينتين رومانيتين

هما: بومبى Pompeii وهيركيولانيم Herculaneum كذلك كان له ثوران عظيم آخر فى عام ١٩٠٦ أنقص ارتفاع جبل البركان مئات عديدة من الأقدام.

أما البركان الهامد فهو الذى لم يستدل على ثورانه خلال الأزمنة التاريخية، أى فى خلال الأربعة آلاف سنة أو الخمسة آلاف سنة الأخيرة. لكن الطبيعة تميل إلى تجاهل التقسيمات التى يضعها الإنسان للبراكين المنقرضة. إذ إنها قد تطور نفسها، فهناك براكين هامدة انبعث فيها النشاط وعدلت من طبيعتها دون أى إنذار فانضمت بذلك إلى نوعية البراكين النشيطة، ومثال ذلك بركان قمة لاسن Lassen Peak فى شمال كاليفورنيا، الذى ثار عام ١٩١٤ بعد مائتى (٢٠٠) عام من الهمود. وخلال فترة ثورانه خرجت من فوهة البركان أبخرة ورماد وارتفع عمود من البخار إلى نحو عشرة آلاف قدم فوق قمة الجبل. وهذا النشاط الذى كان غير متوقع، يعتقد أنه كان نتيجة لزلزال ألاسكا العظيم وزلزال كاليفورنيا اللذين ضربا المنطقة عام ١٩١٤. وقمة البركان التى تعرف أيضا باسم جبل لاسن Mount Lassen ، تحاط بانسيابات لابية. وفى هذه المنطقة يمكن مشاهدة أمثلة رائعة للصخور البركانية والعيون الحارة وأوعية الطين والأنشطة الأخرى التى تسببها عمليات البركنة volconism. وتعرف أوعية الطين، mud pots بأنها نوع من العيون الحارة تتكون من حفر ضحلة تمتلئ بالطين الحار الذى يكون عادة فى حالة غليان وبه كمية قليلة جدا من الماء. ويذكر علماء البراكين أن البراكين التى تتحات (تحدث لها عملية تحات erosion) حتى يصل ارتفاعها إلى مستوى غرفة الصهارة تصنف تحت اسم البراكين المنقرضة حقيقة.

٧- النواتج البركانية Volcanic Products

عندما تثور البراكين، فإنها تقذف تشكيلة كبيرة من المواد تتردد بين الغازات إلى الكسر الصخرية الكبيرة.

• الغازات Gases

تكون الغازات التى تتصاعد من البراكين من بخار الماء بدرجة كبيرة، مع كميات متفاوتة من غاز ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والكلور. وخلال عمليات الثوران البركانى قد تختلط الغازات الهاربة بكميات كبيرة من الغبار

البـركاني وترتفع من الفـوهة البـركانيـة على هيئـة سـحب عظيمـة دكناء يمكن مشـاهدتها من مسـافة أميال كثيرة.

• السوائل Liquids

السوائل التي تنتجها البراكين هي اللابات، وهي كـميات عظيمة من صخور منصهرة إلى درجة البـياض. وتخرج اللابة من الفوهة البركانيـة، لكنها قد تخرج من جوانب المخروط البركاني لتهرب عن طريق الكـسور والشقوق التي تتكون على طول مناطق ضعف الصخور. وليـست كل اللابات متشابهة في صفاتها الـفيزيقية أو في تركيبها الكيمـيائي. وقـد تـنتج هذه الصفات من خلال الطريقة التي تخرج بها المواد البركانية. ويؤثر التركيب الكيـميائي للابة على لزوجتها والتي سوف تؤثر بالتالي على معدل انـسيابها والمسافة التي تقطعها لتنسـاب خلالها.

كذلك فإن التركيب الكيميائي للابة يؤثر إلى حد كبير على شكل المخروط البركاني ويكون له تأثير أيضا على البنية السطحية للصخور المتكونة حينما تتصلب الصخور المنصهرة. ونظرا لتباين خصائص اللابات، فـقد قسمها علماء الجيولوجيا إلى: لابة حمضيـة ولابة قاعدية، ولابة متوسطة.

وتتميز اللابـة الحمضيـة بمحتواها العالي من السـليكا (٦٥- ٧٥ ٪) وعادة ما تكون لزجة جدا ومتفجرة غالبا.

أما اللابة القاعدية فيكون محتواها من السـليكا قليلا (أقل من ٥٠ ٪) وهي أقل لزوجة وليـست متفجـرة كما هو الحال في اللابة الحـمضية حيـث إن الغازات الذائبة تهرب بسهولة من اللابة الأكثر سيولة.

أما اللابة المتوسطة فهي التي تقع بين اللابة الحمـضيـة واللابة القاعدية. وفي الظروف النموذجية، تحتوي اللابة المتوسطة على نسبة من السـليكا تتردد بين ٥٠ ٪ و ٦٠ ٪ وينعكس تركيب اللابة والطريقة التي تتبرد بهـا وتتصلب على البـنيات السطحية للصـخر. فحينما تنساب اللابة على سطح الأرض، فإنها تبرد ويحدث نقصان في الضـغط، مما يسمح بهروب الغازات التي كـانت محبوسة فـيها. وهذه الغازات الهاربة تنتج فقـاعات فتترك فراغات عندمـا تتصلب اللابة. وتـسمى اللابة المتصلبة من الرماد والتي تحتوي عـددا كبيرا من الفجوات باسم سكوريا scoria

ويســـمى سطح اللابة المغـطى بكتل زاوية من الســكوريا aa (Ah -ah). واللابة المتصلبـة التى لها سطح ناعـم ملتف مثـل الحبـل تـسمى Pahoehoe (باهوهى)، وتنطق هكذا: (pah-HOE-ay-HOE-ay) هذه المصطلحات الغـريبة على الـسمع، نشأ اسـتعمالهـا فى جزر هاواى. حيـث توجـد هناك هـذه الأشـكـال من اللابـة وتوجـد فى أجـزاء مختلفـة من بريطانيا «اللابة الـوسـائدية» (pillow lavas) التى تكونت من ألواح اللابة التـى طفحت من البراكين التى تثـور مـن تحت الماء.

وحينما يتـقابل الماء البارد مع اللابة الـساخنة الدوارة، فإن سطحـها يتصلب وبالتالى فـإن معـدل الانـسياب يتـوقف عن الازدياد وعليه، فـإن اللابة تدخل فى الشقوق وتتصلـب متخذة شكل الوسـائد لتكون أكواما منها. وهـذه الأشكال توجـد فى شمـــال ويلز ويرجع عمـرها إلى (الأردوفيشـــى)، وحتى اليوم لا تزال أمـثلة مشابهة تتكون من البراكين التى تثور من تحت الماء.

- **المواد الصلبة Solids**

يختلف حجم المواد الصلبة التى تقذفها البراكين، فقد تكون دقيقة مثل الغبار أو قد تكون كتلا ضـخمة من الصخور تزن أطنانا عديدة. وتـسمى هذه المقذوفات الصلبة باسم الفتـاتيات البركانيـة pyroclastics وتشتـمل على المقذوفات (القنابل البركانيـة)؛ وهى أجـــام مكورة تتكون بالتبريد السريع للابة المنصـهرة حينما تدفع فى الهواء لتتصلب (انظر شكل ٢٨) أما الكـــر الكبيرة الزاوية الشكل التى تقذفها البراكين فتـسمى الكتل البركانيـة volcanic blocks وأما الكتل الصغيرة (فى حجم الحصوات) فتـسمى لوبيات lapelli. وقد تنتج كمـيات كبيرة من الحـجر والرماد البركانى نتيجة لتصلب الجسيمات الصغيرة من اللابة بعد أن تقذف فى الهواء.

٨- الثوران البركانى Volcanic Eruption

ينقسم الثوران البركانى إلى ثوران مركزى central eruption وثوران شقوق fissure eruption:

أ- الثوران المركزى Central Eruption

فى الثوران المركزى تندلع المواد البركانية خلال طريق واحد هو قصبة البركان التى تفتـح فى فوهته عند قـمة الجبل الـبركانى. وعـادة تبنى المواد البركـانية التى

دفعت فى هذه الحالة، مخروطا يتكون من اللابة، ورماد متصلب أو طبقات متبادلة من كليهما.

وقد يكون الثوران فى هذا النوع متفجرا أو هادئا، وهذا يعتمد على الخصائص الكيميائية والفيزيقية للابة، فإذا كانت اللابة المقذوفة حمضية التركيب، فإنها تميل إلى أن تكون أكثر تفجرا، بينما تنساب اللابة القاعدية عادة بهدوء أكثر نسبيا.

ب- ثوران الشقوق Fissure Eruption

يحدث هذا النوع من الثوران البركانى عندما تخرج كميات كبيرة من اللابة خلال شق أو مجموعة من الشقوق فى القشرة الأرضية. وهذا النوع من الثوران البركانى قد يغطى مساحات شاسعة، ويعتقد أنه المسئول عن تكون سهول اللابة الكبيرة وهضاب البازلت فى العالم. ومن الجدير بالذكر أن معظم السهول اللابية تكونت فى أزمنة ما قبل التاريخ، وأن النشاط البركانى ما عاد موجودا بالقرب من الانسيابات اللابية. ومن الجدير بالذكر أن ثوران الشقوق الوحيد الذى حدث فى العصور الحديثة وقع فى عام ١٧٨٣ حينما تدفق انسياب لابى على طول شق عظيم بالقرب من جبل سكابتا Mount Skapta، ويعرف باسم شق لاكى Laki Fissure ، وغطى مساحة قدرها ٢١٨ ميلا مربعا (٥٧٠ كيلو مترا مربعا).

ومع ذلك فهناك أدلة كثيرة تؤيد أن هناك ثورانات شقوقية حدثت فى أوقات كثيرة خلال الماضى الجيولوجى. وينتج عن خروج اللابة من الشقوق حجوم هائلة من اللابة تشاهد فى صورة ألواح أكثر اتساعا من تلك التى تخرج من المخروط المركزى وتغطى مساحات شاسعة. ومن أمثلة نواتج الثوران اللابى من الشقوق الانسيابات اللابية التابعة للدور الثالث Tertiary فى بريطانيا وأيسلندا وكذلك الانسياب البازلتى الهندى العظيم.

٩- أنماط البراكين Types of Volcanoes

أحد أشهر التقسيمات التى وضعت لتصنيف البراكين يميز منها أربعة أقسام أساسية هى: بلِّية Pelean، وفلكانية Vulkanian، وسترمبولية Strombolian، وهاواية Hawaiian.

• البراكين البلية Pelean Volcanoes

هذا النوع من البراكين هو المتفجر Explosive ، ويثور بانفجار عنيف وتخرج منه كميات كبيرة من الغاز والرماد البركانى والغبار والكسر الصخرية الكبيرة. ويعتقد أن هذا النوع من الثوران يحدث فى البراكين التى تكون أعناقها قد سُدَّت بالصهارة المتصلبة. وتنشأ عن الغازات المتراكمة فى غرف الصهير ضغوط عظيمة تكفى لقذف هذه السدادة المكونة من الصهارة المتصلبة، وانفجار أجزاء كبيرة من الجبل. ويصاحب هذا النوع من الثوران البركانى سحب مدمرة من الغازات البركانية والرماد، وهو من أشد أنواع البراكين المدمرة التى تسبب كوارث للإنسان. مثال ذلك، البركان الذى ثار عام ١٩٠٢ عند جبل بلية Mount Pelee فى جزر المارتينيك فى غرب الإنديز - وبعض ثورانات أخرى حدثت فى عام ١٧٦٢ وعام ١٨٥١ لم يظهر البركان أية علامات لنشاطه وظن العلماء أنه أصبح هاجعا Dormant ، لكنه عاد وثار عام ١٩٠٢ بهذه الدرجة العنيفة، لدرجة أن قمة الجبل طارت فى الهواء. وتبع هذا الثوران ظهور سحابة ضخمة سوداء من الغازات الساخنة والغبار الذى تساقط على مدينة سانت بيير St . Piere وأدى إلى هلاك ثلاثين ألف نسمة تقريبا.

• البراكين الفلكانية Vulcanian Volcanoes

يتميز البركان الفلكانى بلابة لزجة جدا تتصلب بسرعة بعد خروجها وعند ملامستها للهواء. ويتصلب سطح اللابة فى فوهة البركان بين فترات توقف الثوران، والثوران الذى يحدث بعد ذلك تتكرر معه نفس العملية. وهذا النوع من الثوران البركانى تنتج عنه كميات كبيرة من الرماد البركانى واللابة وسحب كثيفة كبيرة من الغبار والغازات.

ويشتهر بركان فيزوف Vesuvius فى إيطاليا بعدد كبير من الثورانات التى تتبعها فترات من الهدوء، وهو خير مثال على البراكين الفلكانية.

• البراكين الاسترومبولية Strombolian Volconoes

هذا النوع من البراكين يكون دائم النشاط مع وجود الغازات المتصاعدة بصفة دائمة، على العكس من البراكين النموذجية التى تثور على فترات متبادلة مع

فترات هدوء. وجزيرة سترومبولى وهى إحدى جزر مجموعة ليبارى Lipari Group فى البحر المتوسط، بعيدا عن الشاطئ الشمالى لجزيرة صقلية تعد المثال الكلاسيكى لهذا النموذج من البراكين. وهذا النوع من البراكين نشيط باستمرار وتندلع منه المواد عند ثورانه بفاصل زمنى يتردد بين دقائق معدودة وساعة تقريبا بين كل ثوران وآخر. ويصاحب الثوران البركانى فى هذا النوع، تصاعد لابة لزجة وكميات كبيرة من الفتاتيات البركانية. وتصنف أنواع البراكين الاسترومبولية والفلكانية على أنها من البراكين المتوسطة Intermediate Volcanoes.

• البراكين الهاوايية Hawaiian Volcanoes

براكين هاواى أو البراكين الهادئة، تتميز بلابة أقل لزوجة تسمح بهروب الغازات فى حدود درجة ضعيفة جدا من الشدة الانفجارية، وتخرج اللابة أساسا من فوهة البركان إلى جانب خروج بعضها من خلال شقوق على جوانب الجبل. ويصاحب خروج اللابة انفجارات ضعيفة نتيجة للغازات المنبعثة، والتى قد تخفف اللابة إلى رغوة لابية تتصلب فيما بعد إلى سكوريا Scoria. وربما يكون بركان ماونالوا Maunaloa فى جزر هاواى هو أحسن مثال لهذا النوع من البراكين، ويرتفع جبله البركانى إلى ١٣٦٨٠ قدما فوق منسوب سطح البحر، وفوهته البيضية الشكل يبلغ محيطها خمسة أميال، وحوائط هذه الفوهة العظيمة رأسية تقريبا ويعتقد أن عمقها ١٠٠٠ قدم.

١٠- أشكال سطح الأرض الناتجة عن النشاط البركانى

Land Forms Produced by Volcanic Activity

تنتج عن النشاط البركانى وخروج اللابة أربعة أنماط من أشكال سطح الأرض هى: بازلت الهضاب (سهول اللابة)، والجبال البركانية، والفوهات البركانية، والكالديرا.

• بازلت الهضاب أو سهول اللابة Lava Plains:

تتكون هذه الأشكال حينما تتسرب فيضانات من اللابة عبر الشقوق وتنساب مشكلة طبقات لوحية الشكل فوق سطح الأرض. وأكبر ثلاثة من بازلت الهضاب

هى هضبــة نهر كولومبـيا Columbia River Plateau وتغطى حوالى ٢٠٠ ألف ميل مربع (٥٢٠ الف كـيلو متر مربع) طولا ويبلغ سـمكها حـوالى الميل، وهضبة الدكان فى الهند، هضبة بارانا Parana فى أمريكا الجنوبية.

• **الجبال البركانية Volcanic Mountains**

تتكون هذه الجبـال من مواد بركانيــة من نوع الثوران المركـزى وتقــم إلى: مخاريـط انـفجاريـة Explosive Cones (أو مخاريط جـمرية)، ومخاريط مـركبة composite cones (أو طبقــية بركـانية strato - volcanic)، وقبـاب لابية Lava domes (أو البراكين الدرعية shield volcanoes).

• **المخاريط الانفجارية Explosive Cones:**

هذه المخاريط تتكون فقط بالثوران الانفجارى، وتتـركب من طبقات متتابعة مطوية بشدة من الفتاتيات البركانية تتـوضع حول مركز الفوهة البركانية، والمخروط البركـانى فى هذا النوع نادرا ما يتعـدى ١٠٠٠ قدم فى الارتفاع وينتج غـالبا عن انفجار بركانى واحد.

• **المخاريط المركبة Composite Cones**

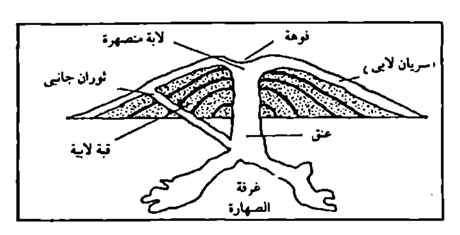
هذه براكـين شديدة الانحـدار وتتكون من ألواح مـتبـادلة من اللابة والمواد البركـانية الفتاتيــة، وتأخذ شكل الجبل المخـروطى ذى الجوانب المقعـرة، وقد يبلغ ارتفاع الجبل المخروطى ١٢ ألف قدم.

ويعد وجود التــابع الطبقى من اللابة والبركانيات الفتــاتية دليلا على وجود فـترات سكون تفـصل بين فـترات ثوران للبـركان. ومــن أشهـر أنواع البراكـين المخروطيـة المركبـة أو البراكـين الطبقـية strato - volcanoes بركان فـيزوف فى إيطاليـا، وكـذلك بركـان فـوجى ياما Fujiyama فى اليـابان، وبركـان مـونت رانير Mount Rainier فى واشنطن، وبركان كلمنجارو فى تنزانيا.

• **قباب اللابة Lava Domes**

قبـاب بركانيــة عريضــة لها ميل بـسـيط، وتتمـيز بأن لهـا أسطح علوية دائرية ومحدبة (شكل ٢٩) ومن هنا كـانت تـسميتها بالبـراكين الدرعية shield. وتتكون

هذا النوع من الجبال البـركانية من عدد كبيـر من انـسيابات اللابة البازلتية المتراكمة والتى نشأت عن قصبة بركانية مركزية أو من انسياب مـن جوانـب الجبـل البركانى خلال الشقوق. وتعد براكين جزر هاواى العظيمة خير أمثلة على هذا النوع.



شكل (٢٩)
قبة اللابا او البركان الدرعى

• فوهة البركان Volcanic Crater:

هى منخفضات قمعية الشكل توجد عند قمم الجبال البركانية ويحدث ثوران البركان من خلالها. وتنتج معظم الفوهات البركـانية نتيجة لانفجار بركانى نشيط. ولا يزيد قطرها فى الغالب عـن ميل واحد ولا يزيد عمـقها على مـئات قليلة من الأقدام.

• الكالديرات Calderas:

هى منخـفضات حـوضيـة الشكل ودائرية تقـريبا توجد فـى قمم البـراكين وتكـون أكبر مـن الفوهـات (craters)، ويوجـد من الكالديرا نوعان: النوع الأول يتكون نتيجة للنشاط البركانى الانفجارى، أما النوع الثانى فيتكون نتيجة للانهيار والهبوط.

وتتكون الكالديرا الناتجة عن الانفجار بسبب انفجار بركانى عنيف يزيح معه كمـية كبيـرة مـن الصـخور. أما الكالديرا التى تنتج عن الانهـيار والهبوط فـتنشأ عندما تنهار الأجزاء العلوية للبركان بسبب الانسحاب المفاجئ للصهارة التى كانت

تدعـمهـا وتـسندها. وهناك بعض أنواع من الكالديرا يعـتقـد أنها تكونت نـتيـجة للانفـجار والانهيـار معـا، مثـال ذلك بحيرة الـفوهة crater lake في أوريجون بالولايات المتحدة الأميـركية، والتي تشغل كالديرا عظيمة ويعـتقد أنها تكونت عن انهيار بركان مـنقرض حاليا. وقد تمتلئ الكالديرا بالماء الذي قد يغـطي مـساحة ٢٠ ميلا مربعا تقريبا، وقـد يصل عمقه إلى ٢٠٠٠ قدم. وجزيرة ويزارد Wizard Island هي مخـروط بركاني جـمري صـغير يـرتفع حوالي ٨٠٠ قدم فـوق سطح البحيـرة. وهذا المخروط تكون نتيجـة للثوران البركاني الـذي حطـم قـمـة بركان مونت مازاما (Mount Mazama).

١١- مصادر الحرارة البركانية Sources of Volcanic Heat

بالرغـم من أن الـسـبب المحـدد للـبركـنة ما زال غيـر معـروف بالتـحـديـد، إلا أن مـحـاولات عـديـدة بذلـت لشـرح ذلك الأمر. ومن أكـثـر الآراء قـبـولا لـدى العلمـاء نظريـة انطـلاق الضغـط pressure release theory، وكذلك نظرية الحرارة الاحـتـكاكـيـة frictional heat وأيضـا نـظرية النشـاط الإشـعـاعي radioactivity theory.

• نظرية انطلاق الضغط Pressure Release Theory

تفـتـرض هذه الـنظريـة أنه كلمـا ازداد الـعـمق في باطن الأرض، ازدادت درجـة الحـرارة، وبالتـالـي فـإن الصـخـور المدفونة عنـد أعمـاق بعيـدة عن سطح الأرض تكون في حالة سـائلة. ومع ذلك فإن هذه الصـخور الموجودة في الأعماق تكون واقعة تحت ضغوط هائلة، وعليـه فـسوف تكـون موجـودة في حالة صـلبة، ما عـدا تلك الصخور الموجـودة فـي أماكن الكـسور في القـشرة الأرضيـة، حيث يؤدي نقصان الضغـط الواقع على هذه الصخور أن توجد في الحالة السـائلة.

• نظرية الحرارة الاحتكاكية أو نظرية التضاغط

Frictional Heat Or Compression Theory

تفـترض هذه النظرية أن الحـرارة تـولد من الاحتكاك الذي يحـدث خـلال تحرف القشرة الأرضية (انظر الفـصـل الخامس) وتقوم هذه النظرية على أساس قرب

المناطق ذات النشاط البركانى من الأقاليم التى يحدث فيها تحرف قشرى حديث نسبيا.

• نظرية النشاط الإشعاعى The Radioactivity Theory

تفترض هذه النظرية أن التركيز المحلى للمواد المشعة يكون له القدرة على توليد حرارة كافية لصهر كميات كبيرة من الصخور اللازمة للنشاط البركانى.

١٢- الداخنات والعيون الساخنة والحمات

Fumaroles , Hot Springs and Geysers:

فى كثير من المناطق البركانية أو مناطق النشاط النارى توجد شواهد من الغازات البركانية والأبخرة أو المياه الساخنة الهاربة من الأرض. وفيما يلى شرح لبعض هذه الظواهر:

• الداخنات Fumaroles

هذه شقوق فى سطح الأرض أو فتحات فى شكل الأعناق تخرج من خلالها الأبخرة والغازات. وتتصاعد الأبخرة من داخنات معينة فى إيطاليا بكميات كافية لتدير مولدات توربينية كهربائية. وتتميز بعض الداخنات بخروج كميات كبيرة من الأبخرة الكبريتية وهذه تسمى المكبرتات **solfataras**.

• الينابيع الساخنة Hot Springs

تتكون الينابيع الساخنة عندما تسخن المياه الأرضية بواسطة كتل كبيرة من الصهارة توجد بالقرب من سطح الأرض ومن أمثلتها تلك الموجودة فى منطقة «باث» بجنوب إنجلترا ومناطق أخرى. كذلك توجد الينابيع الساخنة فى أماكن أخرى من العالم، مثل تلك الموجودة فى منطقة واكا إواريوا Whakarewarewa فى نيوزيلندا، حيث كان السكان الأصليون يستخدمونها منذ قرون كمواقد طهى طبيعية.

• الحمات Geysers

هى نوع خاص من العيون الساخنة، يثور منها عمود من البخار والمياه الساخنة على فترات متقطعة. وتتكون الحمات فى مناطق تكون درجة حرارة

الأرض فيها مرتفعة بشكل ملحوظ، حيث توجد شقوق طويلة فى صخور المنطقة. وعندما يسخن الماء الأرضى عند قيعان هذه الشقوق إلى درجة حرارة أعلى من درجة غليان الماء (١٠٠°) فإن الماء الموجود فى القاع يصبح فوق مسخن بفعل الضغط الموجود عند هذه الأعماق. وعندما يتمدد الماء الموجود فى هذه الأعماق فإنه يجعل جزءا من الماء الذى يعلوه ينساب على السطح. هذا الانسياب يقلل الضغط إلى حد يجعل الماء فوق المسخن يندفع بشدة فى صورة بخار وعلى هيئة انفجار، قاذفا عمودا من الماء فى الهواء باندفاع شديد. وهناك بعض الحمّات مثل المخلص القديم فى متنزه الحجر الأصفر Old Faithful in Yellowstone National Park فى أميركا، حيث تثور بانتظام بدرجة مثيرة للدهشة. وترجع شهرة هذه المنطقة إلى وجود مئات الحمّات النشيطة وحوالى ٣٠٠٠ عين ساخنة لكنها ليست متدفقة كالحمّات. وهناك مناطق أخرى تشتهر بوجود الحمات مثل ايسلندا ونيوزيلندا واليابان.

١٣- النشاط البركانى الحديث Recent Volcanic Activity

فى عام ١٨٨٣ م وبعد ٢٠٠ عام من الخمود البركانى، ثار بركان كراكاتوا Krakatoa الذى يقع فى منطقة برزخ سوندا Sunda Strait بين جاوة وسومطرة فى أندونيسيا ليتج عنه أكبر انفجار بركانى عرفه التاريخ. ولقد ألقى هذا الانفجار بالحطام أميالا كثيرة فى الهواء. وانتشر الرماد البركانى المتساقط فوق ٣٠٠ ألف ميل مربع (٨٠٠ ألف كيلو متر مربع). وفى خلال خمسة عشر يوما غطى الرماد والغبار البركانى الناتج عن الانفجار سطح الأرض تماما. وكان هذا النشاط البركانى العنيف الذى سببه بركان كراكاتوا هو المسئول عن أمواج المد والجزر الرهيبة، والتى بلغ ارتفاع الواحدة منها ١٠٠ قدم، دمرت بسببها مئات القرى، وبلغ الغرقى ٣٦ ألف شخص.

وبركان باريكتين Paricutin هو أحدث البراكين وأكثرها شهرة وهو الذى أمدنا بكثير من المعلومات عن مولد البركان وتطوره وموته. ويقع هذا البركان على مسافة ٢٠٠ ميل غرب مكسيكوسيتى. وكانت أول إشارة لنشاطه قد بدأت فى شهر فبراير عام ١٩٤٣حينما حدثت انفجارات رهية وتدفقت الانسيابات اللابية والفتاتيات البركانية.

وبنهاية الأسبوع الأول من ثوران هذا البركان تكون مخروط بركاني بلغ ارتفاعه ٣٥٠ قدما وبلغ ارتفاع هذا المخروط البركاني ١٤٠٠ قدم في العام الأول، وتوقف الثوران عام ١٩٥٢ ويبدو بركان باريكتين الآن في صورة ميتة. ولعل أعظم الثورانات البركانية في هذا القرن هي التي حدثت في شهر مارس ١٩٥٦ في شبه جزيرة كامشاتكا على الحدود الشرقية القصوى للاتحاد السوفيتي (سابقا). وكان النشاط البركاني قد بدأ مرة أخرى قبل ذلك بستة أشهر وتمكن فريق من العلماء الروس الذين ذهبوا إلى المنطقة من ملاحظة الأحداث المهمة التي تبعت ذلك النشاط البركاني وتوثيقها. ويبدو أنه كلما طالت مدة هجوع البركان، فإن الانفجار الذي يحدث - لو ثار البركان - بعد فترة السكون يكون عظيما جدا ومروعا. كانت منطقة شبه جزيرة كامشاتكا «هاجعة» أو نائمة بركانيا لفترة ٥٠٠٠ عام على الأقل، لذلك قذف الانفجار الرهيب بمواد ذات أبعاد عملاقة وغازات متصاعدة وركام تساقط بكثافة كبيرة (يمكن أن يغطي مدينة في حجم مدينة برمنجهام بطبقة سمكها خمسون قدما) وكان هذا الركام قبل أن يتساقط قد قذف في الهواء لارتفاع ١٠٠ ألف قدم .

وكان جزء من فريق العلماء قد أقاموا معسكرهم على بعد أميال قليلة من الفوهة البركانية، فأفزعتهم الأصوات الرهيبة وكانت الأرض تهتز من تحتهم. وفي هذا الوقت بلغ قطر الفوهة البركانية ٨٠٠ قدم. وعندما توقف البركان عن الثوران بلغ قطر الفوهة ٥٠٠٠ قدم. وكان هناك جزء آخر من الفريق يعسكر على مسافة ٢٥ ميلا من الفوهة البركانية فتعرض لتساقط الرماد البركاني على هيئة مطر وابل (shower) غطى الجليد بسمك بوصات عديدة. وانتشرت سحب الغبار البركاني وسقط الرماد الدقيق حول القطب الشمالي. وشوهدت سحابة صغيرة من الرماد البركاني فوق بريطانيا بعد أربعة أيام من حدوث الانفجار البركاني.

الأمثلة التي ذكرناها هي مجرد ثلاثة من ثورانات بركانية كثيرة ومثيرة حدثت وسجلت. والقائمة الموجودة في نهاية هذا الكتاب عن مراجع الاستزادة تزود بتفاصيل أخرى عن الأنشطة البركانية الشهيرة.

وعندما وصـفنا اللابات الوسائدية Pillow Lavas كان حديثنا منصبا عن البراكـين تحت البحرية التى تثـور غالبا عنـد أعماق بعيـدة، وهذه لا تشكل نفس المظاهر التى تخلفها البراكين التى تحدث على سطح الأرض. ولكن فى عام ١٩٥٧ حدث مثال في جزر أزور Azores حيث عمق البحر ٣٠٠ قدم فقط، شاهد أحد النـاس بواسطة منظاره المكبر Binocular ، فقاعـات غريبة فى البحر وسـرعان ما تحول البحر إلى لـون أصـفر قذر، نتيجة لتـرب الغـازات من البركان الثائر. وفى خلال ساعات قليلة أصبح البحر فى هذه المنطقة فى حالة غليان وتصاعد فى الهواء عمود من البخار. وكان حجر النشف الذى قـذفه البركان خفيفا فطفى على سطح الماء فى صورة كتل بنية اللون. وفى خلال أسـبوع أو أسبوعين، كانت المواد التى قذفت من البركان قد بنت جزيرة زاد ارتفاعها على ٣٠٠ قدم، وبلغ قطرها ٢,٥ ميل، ولم تـستمـر طويلا كجزيرة، حيث اتصلت بما يجاورها من البـر بشبه جزيرة من الركام الذى بلغ عرضـه ميلا وهذا على النقيض مما حدث فى ثوران كـمشـاتكا Kamchatka الصـاخب فـقد حـدث كل هذا فى هدوء وسـكون إذ كتم البـحـر الضوضـاء وهناك حالات مـشابهة من الجزر التى تبرز فجأة أحيـانا مما يجعلها مادة للعناوين الرئيـسية فى الصحف.

الفصل الرابع

الصخور الرسوبية

SEDIMENTARY ROCKS

تتأثر الصخور المنكشفة على سطح الأرض بشكل خاص بعوامل التحات، فتؤثر فيها العوامل الكيميائية أو تتحطم ميكانيكيا بالدحرجة على أرضية مجرى مائى مثلا. وفتات هذه الصخور قد تتجمع وتنقل بواسطة الرياح والمياه والجليد. وعندما يتلاشى عامل النقل فإنها تتوضع ويشار إليها عموما بأنها رواسب. وتتوضع الرواسب نموذجيا فى سطائح تسمى «طبقات».

وحينما تتماسك الرواسب وتلتحم مكوناتها (وهذه عملية تسمى التحجر)، فإنها تكون الصخور الرسوبية sedimentary rocks. وهذه الصخور التى تمثلها النماذج الشائعة مثل الحجر الرملى والطفلة والحجر الجيرى تكون حوالى ٧٥ ٪ من الصخور المنكشفة على سطح الأرض . ومعظم أنواع هذه الصخور تتكون فى ظروف بحرية، أو على الأقل يرتبط تكوينها بالماء بطريقة أو بأخرى.

وتصنف الصخور الرسوبية عادة فى قسمين هما: الصخور الفتاتية clastic والصخور الكيميائية chemical، وذلك بحسب مصدر المادة الصخرية التى تتكون منها والطريقة التى تكون بها الصخر.

١- الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic Sedimentary Rocks

تتكون الصخور الرسوبية الفتاتية من كسارة صخرية تنتج عن تحلل أو تفكك الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة. والصخور المتكونة عن بلى

وتفكك صخور كانت موجودة من قبل تسمى الصخور الحتاتية detrital أو الكارية fragmental. ونظرا لأن الرسوبيات التى تكونت منها هذه الصخور كانت قد نقلت بواسطة عوامل نقل ميكانيكية مثل الماء والرياح أو الجليد، فإن هذه الرسوبيات يطلق عليها اسم الرسوبيات الميكانيكية.

جدول رقم (٢): تصنيف الصخور الفتاتية

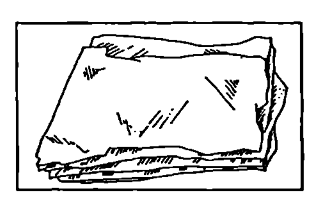
(مستديرة، وشبه مستديرة، وشبه زاوية)

الحجم size	الكسرة fragment	التجمع aggregate
اكبر من ٢٥٦ مم	جلمود boulder	جرول جلمودى - كونجلوميرات جلمودى.
٢٥٦-٦٤ مم	حصاة cobble	جرول فهرى.
٦٤ -٤ مم	حصباء pebble	جرول حصبائى - كونجلوميرات حصبائى.
٤ -٢ مم	حبيبة granule	رمل حبيبى.
٢- $\frac{١}{١٦}$ مم	حجم الرمل sand	رمل وحجر رملى (صخور رملية).
$\frac{١}{١٦}$ - $\frac{١}{٢٥٦}$ مم	حجم الغرين silt	غرين وصخر الغرين (صخور طينية).
اقل من $\frac{١}{٢٥٦}$ مم	حجم الصلصال clay	صلصال وطفلة

وتتكون الصخور الرسوبية الفتاتية من جسيمات صخرية لها حجوم مختلفة. وسوف نستخدم اصطلاح (رملى arenaceous) للصخور الفتاتية التى لها حجم حبيبى يقع بين (٢ مم و$\frac{١}{١٦}$ مم)، وكذلك اصطلاح طينى argillaceous؛ clay-ey) للصخور ذات الحبيبات التى يقل حجمها عن $\frac{١}{٢٥٦}$ مم. ويوضح جدول رقم (٢) أمدية الحجوم التى لاقت قبولا كبيرا للمواد التى تتكون منها الصخور الرسوبية الفتاتية. وفيما يلى وصف لبعض أنواع الصخور الرسوبية الفتاتية الأكثر شيوعا:

• الطفلة Shale

أكثر أنواع الصخور الرسوبية شيوعا. وتتكون الطفلة من الغرين والصلصال اللذين يتصلبان على هيئة صخر متماسك. وتتميز الطفلة بأنها دقيقة التحبب مترققة وتنفصل (تتورق) بسهولة عبر مستويات التطبق (أى مستويات التقسيم التى تفصل الطبقات المفردة فى طبقات الصخور الرسوبية) (شكل ٣٠). وإذا احتوت الطفلة على كمية لا بأس بها من الرمل سميت طفلة رملية arenaceous shale، والطفلة التى تحتوى على كمية من المواد العضوية تسمى طفلة كربونية، وهى ذات لون أسود تماما بسبب ما تحتويه من مواد عضوية. كذلك إذا احتوت الطفلة على مواد جيرية، تسمى طفلة جيرية calcareous وقد ينتج من الطفلة الكربونية carbonaceous shale البترول أو الفحم. وتستخدم الطفلة الجيرية فى صناعة الأسمنت البورتلندى. وطفلة الزيت oil shale التى توجد فى وسط اسكتلندا لونها أسود عادة بسبب وجود المواد العضوية فيها، والتى تشتمل على مواد هيدروكربونية وبالرغم من إمكانية الحصول على البترول من طفلة الزيت oil shale ، إلا أن هذه العملية ليست اقتصادية. وفى خلال الحرب العالمية الثانية، كانت مصادر الزيت فى اسكتلندا تستخرج من طفلة الزيت، حيث أمكن الحصول على ٢٥ جالونا من البترول من كل طن من الطفلة.



شكل (٣٠)
طفلة توضح مستويات تطبق

من أنواع الصخور الطينية الأخرى، الطين الحرارى fire - clay وهو راسب خفيف رمادى اللون غنى بالألومينا، يوجد عادة مع الفحم ويختلط مع بقايا

الجذور الصغيرة الكربونية، وأهم استخدام الطين الحرارى هو بناء الأفران اللافحة. ويحتوى الصلصال الصينى china clay على معدن الكاولينيت؛ الذى يتكون من تحلل معادن الفلسبار فى صخور الجرانيت، ويستخدم فى صناعة الخزفيات والسيراميكيات. والصلصال الصينى لونه أبيض ويوجد بصفة أساسية فى منطقة كورنوول Cornwall بإنجلترا. ويستخدم الصلصال clay فى صناعة قوالب الطوب بخلطه مع الرمل وأكاسيد الحديد، ومن هنا تأخذ لونها الأحمر. وطفلة الشب alum shale توجد فى يوركشير بإنجلترا واستخدمت من قبل مصدرا للشب الذى يستخدم فى صناعة الأصباغ والورق. كذلك تراب القصار fuller 's earth هو نوع آخر من الصخور الطينية يستخدم فى تنقية الزيوت والدهون نظرا لقدرته على الامتصاص.

• الحجرالرملى Sandstone

يتكون الحجر الرملى أساسا من حبيبات من الرمل ملتحمة مع بعضها البعض، ويتميز الحجر الرملى بأن له نسيجا حبيبيا، وهو ثانى الصخور الرسوبية شيوعا فى الأرض. وبالإضافة إلى معدن الكوارتز، فقد يحتوى الحجر الرملى على حبيبات من حجم الرمل (٢- ٠٦٢٥ ,٠ مم) من معادن الكالسيت والجبس وأكاسيد حديد مختلفة. وصخر الأركوز arkose هو حجر رملى يحتوى على نسبة عالية من الفلسبار، وهذا المعدن (الفلسبار) الذى يستمد دائما من الصخور الجرانيتية، يتحلل بسهولة فى الظروف الرطبة، ولذلك فإن وجوده يعد دليلا على الترسيب السريع أو دليلا على ظروف صحراوية سائدة وقت تكون الصخر.

• الجريت(حجرالطاحون) Grit

يحتوى حجر الطاحون على بعض الفلسبار أيضا، ويتكون عادة فى الدلتات القديمة، ويعد حجر الطاحون التابع للعصر الكربونى مثالا نموذجيا على هذا النوع من الصخور الرملية.

• الجروق Greywacke

صخر رملى يتكون من كسارة زاوية الشكل، رديئة الفرز، تشتمل على الفلسبار الذى يوجد فى أرضية طينية دقيقة. هذه الخصائص التى تميز صخر

الجروق تدل على أن مصدره الصخور التي تجاوره والتي تحللت بسرعة ثم تماسكت وتصلبت معا؛ وعادة ما يكون ذلك في القعائر العظمى geosynclines، وهناك صخور من هذا النوع ذات سمك هائل توجد في شمال ويلز واسكتلندا.

• الكوارتزيت Quartzite

صخر قد يحسب على أنه متحول أو رسوبي. ولو اعتبر متحولا يطلق عليه اسم ميتا كوارتزيت metaquartzite، ولو اعتبر رسوبيا فيسمى أرثوكوارتزيت orthoquartzite. ومن الواضح أنهما يتكونان أساسا من معدن الكوارتز، كما يدل اسمهما على ذلك. وهذه الصخور صلبة جدا ومقاومة لعوامل التجوية وتكون ظواهر ثابتة حيثما وجدت، مثل تلي لكي Lickey Hill بالقرب من برمنجهام. والجانستر Ganister، صخر آخر يتكون من الكوارتز النقي تقريبا ويحتوي على جذيرات للنباتات ويوجد مع التابعات الحاملة للفحم.

وقبل أن نترك الحديث عن الحجر الرملي، فإن الرمال الخضراء green-sands، جديرة بأن نلقي عليها بعض الضوء، فهي توجد في صخور الدور الطباشيري في جنوب إنجلترا، وعادة ما يكون لونها برتقاليا أكثر منه إلى الأخضر، وهذا الرمل قابل للطحن بسهولة، وترجع تسميته بالرمل الأخضر، لاحتوائه على معدن الجلوكونيت glauconite الأخضر اللون، وهذا الأخير هو معدن غني بالحديد والبوتاسيوم، وهو معدن ثابت في الأحوال البحرية فقط (وهذا يعطي دليلا على طريقة تكوين الرمال الخضراء). وحينما يتصلب الجلوكونيت وينكشف على سطح الأرض، فإنه يتغير وينشأ عنه معدن حديد آخر هو الليمونيت limonite، الذي يصبغ الصخر كله باللون البني المائل للون البرتقالي المألوف.

• الكونجلوميرات Conglomerate

يتكون صخر الكونجلوميرات من حصى مستدير له حجوم مختلفة وهو في الأصل راسب الجرول الذي اختلط مع الرمال وتماسك بعوامل لاحمة طبيعية. ويتردد حجم الواحدة من الكسر التي يتكون منها صخر الكونجلوميرات من حجم الغرين إلى حجم الجلاميد.

وصخر البريشة breccia هو كونجلوميرات مكون من كسارة صخرية زاوية، مما يدل على أنها لم تنتقل إلا مسافة صغيرة جدا من مصدر تكوينها. وقد تتكون البريشة من ركام السفوح أو نتيجة عملية طحن الصخور أثناء عملية التصدع. والحريث الصخرى tillites هو صخور الكونجلوميرات التى تكونت بفعل الثالج.

وهناك نوعان خاصان من صخور الكونجلوميرات:

النوع الأول يسمى **Hertfordshire Puddingstone**، وهو من الحقب الثالث Tertiary، ويحتوى على كسارة مستديرة من الصوان flint. **والنوع الثانى:** وهو **«طبقات الحصباء»** **pebble bed**: التى توجد فى Bunter Sandsrone وهى من الدور الترياسى Triassic Period وتحتوى على حصباء يتردد حجم الحبة منها بين ٠,٢٥ بوصة و١٨ بوصة ويرجع أصلها إلى صخور الكمبرى والأروفيشى والكربونى.

٢-الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical Sedimentary Rocks

تسمى الرسوبيات التى توضعت من مواد كانت ذائبة فى الماء باسم الرسوبيات الكيميائية ٠وتترسب بعض الرسوبيات الكيميائية مباشرة من الماء التى كانت مذابة فيه؛ مثال ذلك الملح الصخرى الذى يترسب نتيجة للتبخر من مياه البحر. وتسمى الرسوبيات التى تتكون بهذه الطريقة باسم «الرواسب الكيميائية غير العضوية». وتسمى الرواسب الكيميائية التى تترسب بواسطة أو بمساعدة النباتات أو الحيوانات باسم الرواسب العضوية أو البيوكيميائية أو البيوفتاتية bioclastic. مثال ذلك: محارة الأويستر Oyster تستخلص كربونات الكالسيوم من مياه البحر لتبنى به الصدفة الجيرية، وعندما تموت الأويستر Oyster، تبقى صدفتها على قاع البحر حيث تحفظ فى الصخور التى تسمى رواسب القاع. وفيما يلى قائمة بأهم الرواسب الكيميائية وأكثرها شيوعا:

• الحجر الجيرى Limestone

يتكون الحجر الجيرى أساسا من معدن الكالسيت، وهو الشكل الشائع لكربونات الكالسيوم $CaCO_3$. توجد ضروب عديدة من الأحجار الجيرية التى تتباين فى أصلها وأشكالها:

• الطباشير Chalk

أحد أشهر الصخور الرسوبية المعروفة، وبالنسبة للمواطن الإنجليزى فإن الطباشير يعنى جروف دوفر البيضاء، وبيتشى هيد، وداونز ·وهى بيضاء تماما،وفى بعض الأحيان تحتوى على صخور الصوان flint. لكن فى يوركشير، توجد صخور طباشيرية حمراء، ويرجع لونها الأحمر إلى أكاسيد الحديد الحمراء التى صبغت بها هذه الصخور. ويرجع تكوين الطباشير بإنجلترا إلى الدور الطباشيرى، ويوجد الطباشير فى أقطار كثيرة بخلاف بريطانيا؛ ويوجد أسفل الصخور فى معظم أنحاء الدانمرك كذلك يوجد فى أستراليا ·ولا يزال أصل الطباشير مادة للجدل. ويظهر الطباشير تحت الميكروسكوب على هيئة كسر من أصداف صغيرة أو مسحوق منها. ويمكن مضاهاة الطباشير بالردغة الموجودة فى فلوريدا، والتى دلت على أنها من الممكن أن تكون قد ترسبت كيميائيا ·وهناك نظرية أخرى تفسر تكوين الطباشير على أنه ترسب فى بحار ضحلة مع مواد دقيقة جلية من الصحروات المجاورة ·ومن المحتمل أن تكون النظريتان غير صحيحتين.

• كوكينا Coquina

ضرب من الحجر الجيرى، يتكون تماما من كسارة الأصداف.

• الحجر الجيرى الزنبقانى Crinoidal Limestone

يتكون من قطع متكسرة من الزنبقانيات، وهى كائنات تعيش فى مياه البحار الضحلة الدافئة، وترجع معظم أنواع الحجر الجيرى الزنبقانى إلى الدور الكربونى وتوجد فى دربى شاير Derbyshire ويوركشير Yorkshire وفى أماكن أخرى عديدة بإنجلترا.

• شعاب الأحجار الجيرية Reefal Limestones أو الحجر الجيرى الشعابى Coral Limestone

كما يدل الاسم فإنها تتكون أساسا من مرجانيات وجوفمعويات Coelentrata مثل ستروماتوبورا *Stromatopora*. وتوجد هذه الشعاب الجيرية فى الدور السيلورى (ونيلوك Wenlock) والديفونى والكربونى والجوراسى.

• الأحجار الجيرية السرئية والبازلائية Oolitic and Pisolitic Limestones

هي أحجار جيرية تتكون من حبيبات مستديرة تترسب حول نواة عضوية في وسط من تيارات دوارة قليلة الشدة. اشتق اسم oolite من كلمة إغريقية تعني حجر بطروخ السمك fish-roe stone وكلمة pisolite من الحجر البازلائي pea stone.

وتوجد هذه الأحجار الجيرية السرئية والبازلائية مصاحبة المرجانيات. وأشهر تكوينين من هذه الصخور هما «السرئي العظيم Great Oolite» والسرئي الصغير» Inferior Oolite وهما من الدور الجوراسي وينكشفان على السطح في كوتس وولد هل Cotswold Hill في منطقة باث Bath وكذلك في يوركشير.

وفي أيامنا هذه فإن كلا التكوينين السابق ذكرهما يظهران مع الشعاب المرجانية كما في الحاجز العظيم باستراليا، Great Barrier Reef of Australia.

• الترافرتين Travertine

يكوّن الترافرتين الصواعد والهوابط stalactites and stalagmites في الكهوف كما في مناطق شيدار Cheddar وكاسلتون Castleton بإنجلترا، وهي ضروب متبلورة ومشرّطة، غالبا، تصطبغ بشوائب تعطيها ألوانا جميلة غير عادية.

• الطوفا Tufa

حجر جيري مسامي إسفنجي يترسب حول الينابيع ومجاري الأنهار.

• الحجر الجيري الليثوجرافي Lithographic Limstone

لا يوجد هذا النوع من الأحجار الجيرية في بريطانيا، لكنه مهم جدا وجدير بالاهتمام لما يحتويه من حفريات. والحجر الجيري الليثوجرافي صخر يرجع عمره إلى الدور الجوراسي، ويوجد في بافاريا (جنوب ألمانيا) ويتكون من طين الكالسيت (راسب دقيق جدا يترسب في ظروف لاجونية) وقد احتفظ هذا الحجر بأكثر من ٤٠٠ نوع species من الحفريات تشتمل على طوابع للأسماك الهلامية (قناديل البحر) Jelly-fish وكذلك الأركيوبتيركس *Archaeopteryx*،

وهو طائر من عصور ما قبل التاريخ وهو أول شكل لحيوانات لها ريش ظلت محتفظة ببعض خصائص الزواحف. وفي وقت ما، كان هذا الحجر الجيرى الليثوجرافى مهما اقتصاديا فى أغراض الطباعة (اسمه يعنى حجر الرسم). وما زالت هذه العملية تستعمل حتى اليوم ولكن بدرجة محدودة، بعد أن استبدل بالحجر الجيرى الليثوجرافى الألواح الفلزية.

• الدولوميت Dolomite

يعرف الدولوميت باسم الحجر الجيرى المغنيسي magnesium limestome، وتركيبه الكيميائى ($CaCO_3 . MgCO_3$) ويتكون الدولوميت عندما يحل المغنسيوم محل بعض الكالسيوم فى الحجر الجيرى. والطريقة التى يتم بها هذا الاستبدال، ما زالت غير مفهومة تماما حتى اليوم، لكن بعض الشعاب والرثيات والحفريات قد تغيرت تماما بهذه العملية. ويستخدم الحجر الجيرى والدولوميت فى أغراض البناء على نطاق واسع جدا.

• المتبخرات Evaporites

تتكون هذه الصخور الرسوبية من المعادن التى تترسب من مياه البحر نتيجة لعملية البخر. وتشمل هذه المعادن الجبس $CaSO_4 2H_2O$، والأنهيدريت $CaSO_4$، والهاليت (الملح الصخرى NaCl) وتوجد كميات هائلة من هذه الرواسب أسفل معظم أجزاء الجزء الأوسط والشمالى لإنجلترا (هناك تفصيلات أكثر عن هذا الموضوع توجد فى الفصل الثانى من هذا الكتاب).

• الفحم Coal

يتكون الفحم أساسا نتيجة لعملية تكربن بقايا النباتات. ويوجد عادة فى طبقات مع الصخور الرسوبية. وخلال عملية تكوين الفحم يمر فى بدء تكونه، بمراحل عديدة هى: مرحلة الخث peat؛ الذى يتكون من مواد نباتية متكربنة جزئيا، ويمثل أولى مراحل تكون الفحم. ويوجد فى أماكن كثيرة من البرارى والمستنقعات فى وسط أيرلندا. المرحلة التى تلى ذلك هى مرحلة تكوين اللجنيت lignite أو الفحم البنى. والمرحلة الثالثة هى مرحلة تحول اللجنيت إلى الفحم القارى (البتيومينى) ويسمى أيضا الفحم الناعم الذى يتحول بدوره إلى الفحم

الصلب (الأنثراثيت) anthracite. وكان الفحم ولا يزال هو الوقود المهم فى الأغراض الصناعية والعامل الحيوى لازدهار الصناعة فى بريطانيا. وتوجد أهم مناجم الفحم من الدور الكربونى فى وادى مدلاند فى اسكتلندا Midland Valley of Scotland وفى شمال إنجلترا وجنوب ويلز. كذلك تمتد حقول الفحم فى مقاطعة كنت Kent .

نوع آخر من الصخور الرسوبية العضوية هو الراديولاريت radiolarite وهو من الأنواع التى تتكون أساسا من الهياكل الخارجية السيليسية لحيوانات وحيدة الخلية تعرف باسم الراديولاريا radiolarians. كذلك فإن الدياتوميت diatomite الذى يتكون من البقايا السيليسية للنباتات المجهرية المعروفة باسم الدياتومات diatoms هو صخر رسوبى عضوى.

أما حجر الحديد ironstone، الذى يتكون من خامات عديدة من الحديد، فإنه يمد العالم باحتياجاته من الحديد، وهو أيضا من الصخور الرسوبية.

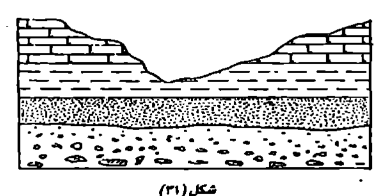
٣- الخصائص الفيزيقية للصخور الرسوبية

Physical Characteristics of Sedimentary Rocks

تتميز الصخور الرسوبية بخواص فيزيقية محددة، وتظهر ملامح معينة يمكن بواسطتها التمييز بينها وبين الصخور النارية والمتحولة، وفيما يلى بعض من هذه الخواص:

• الطباقية Stratification

ربما تكون أهم الخصائص المميزة للصخور الرسوبية وجودها فى طبقات (شكل ٣١).



شكل (٣١)

قطاع فى طبقات صخور رسوبية

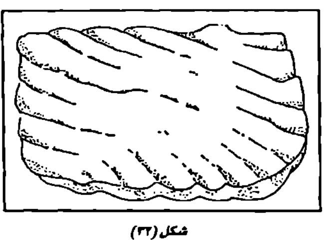
ويفصل كل طبقة عن الأخرى مستوى هو السطح العلوى للطبقة السفلى وفى الوقت نفسه يكون هو السطح السفلى للطبقة العليا، ويسمى مستوى التطبق. وتتكون هذه الطبقات بواسطة العوامل الجيولوجية مثل الرياح أو الماء أو الجليد عندما ترسب حمولتها من الرواسب تدريجيا ويؤدى التغير فى عامل النقل (مثل نقصان سرعة المجرى أو سرعة الرياح) إلى التأثير على أنسجة الصخور الرسوبية وكذلك على ثخانة الطبقات.

• النسيج Texture

يتحدد نسيج الصخر الرسوبى بحجم المواد التى تكونه، كذلك شكلها وطريقة ترتيبها. فالكونجلوميرات مثلا يتميز بنسيج غليظ coarse، بينما الحجر الجيرى الدقيق التحبب له نسيج دقيق fine. وتقسم الرمال إلى رمال غليظة التحبب ودقيقة التحبب وهكذا... بصفة عامة يقال إن الأنسجة textures فتاتية clastic إذا كانت مكونة من فتات صخرى أو معادن فتاتية، ويقال إنها لافتاتية non - clastic إذا كانت متبلورة أو متحببة تقريبا.

• علامات النيم Ripple Marks

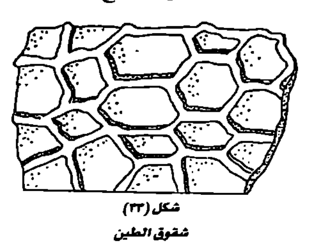
تتكون موجات صغيرة أو تموجات من الرمل على سطح الأرض عند الشواطئ أو على الكثبان الرملية أو على قاع مجرى مائى. وهذا النمط من العلامات قد تحتفظ به أنواع معينة من الصخور الرسوبية (شكل ٣٢) وقد يمد الجيولوجى بمعلومات عن الظروف التى ترسب فيها الراسب.



شكل (٣٢)
نيم الأمواج

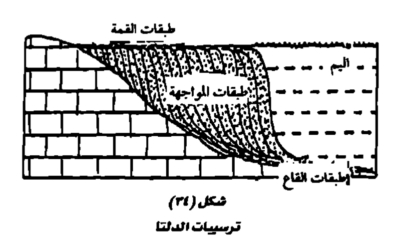
• تشققات الطين Mud Cracks

من الشائع أن نجد تشققات الطين التى تكونت على قيعان البحيرات التى تجف والمستنقعات وطبقات المجارى المائية. وهذه الأشكال ذات الأضلاع المتعددة (polygonal) تعطى مظهرا يشبه خلية النحل. ومثل هذه الشقوق (شكل ٣٣) تحفظ فى الصخور الرسوبية فتعطى انطباعا بأن هذه الصخور كانت قد تعرضت لفترات من الفيضان تتبادل مع فترات جفاف، وتظهر التشققات الطينية عندما يتعرض الصلصال إلى الجو خلال فصل ذى مناخ جاف.



شكل (٣٣)
شقوق الطين

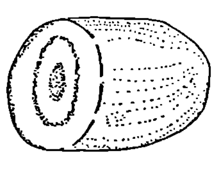
وهناك خصائص أخرى تميز الصخور الرسوبية مثل التطبق المتقاطع cross-bedding، الذى يدل وجوده فى صخر ما على فعل التيارات المائية القوية أو الرياح فى المناطق الصحراوية. كذلك طبقات الواجهة - foreset beds التى توجد فى الدلتات (شكل ٣٤) حيث تجلب الأنهار السريعة الجريان حمولتها



شكل (٣٤)
ترسيبات الدلتا

وتلقى بهـا لتكون النمـوذج الموضح فى (الشكل ٣٤). وقـد تكشـط هذه الأشكال بفعل عمليات التـحات. ويحدث التطبق المتدرج graded bedding حينما تتصنف المواد الصخرية بنفسها بعد الترسـيب السريع بحيث تتجمع المواد الثقيلة فى القاع. ويعد التطبق المتدهور slumped bedding اضطرابا احتفظت به الطبيعة على أرضية البحر. وتصاحب الطبـقات الحولية varved beds المثالج وتمثل كل سطيحـة فيها الرسوبيات التى انطلقت نتيجة لانصهار الجليد فى كل صيف.

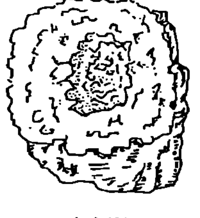
• الدرنات الصخرية Concretions



شكل (٣٥)
درنة صخرية

تحتـوى بعض أنواع الطفلة والأحـجـار الجيـرية والأحجار الرمليـة على كتل صـخرية كروانية أو منبعـجة الشكل، تكون عادة أصلب من الصخر المضـيف لهذه الكتل، وتسمى هذه الأجسـام باسم الدرنات الصخـرية (شكل ٣٥) وتتكون هذه الدرنات الصـخرية حـول أنوية قد تكون حفـرية أو أى جسم صلب. ويتردد قطر الدرنة الصـخريـة بين بوصـة واحـدة وأقـدام عديدة. ونظرا لأن الدرنات الصخرية تكون أكثـر صلابة من الصخور الحاوية لها، فإنهـا تبقى ولا تـبلى بعـد أن يتـحات الـصخـر المضـيف.

• الترجيل الصخرى Geodes



شكل (٣٦)
فجوة تحددها بلورات من الداخل

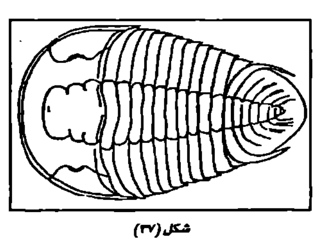
هى درنات صخـرية كروانية الشكل مجـوفة وفارغـة، وغالبـا ما يتحدد الفراغ ببلورات معدنيـة (شكل ٣٦) وتوجـد الفراغـات غالبـا فى الصخور الجيـرية، لكنها قد تكون أيضـا فى بعض تكاوين الطفلة.

•اللون Colour

فـى منطقة مثل «خليج الشب Alum Bay» فى جزيرة وايت Isle of Wight يلاحظ أن تكاوين الصــخور الرسوبيـة فيها تـتميز بألـوان براقة. ويرجع لون هذه الصخور وغيرهـا من الصخور الأخرى إلى التركيب الكيميـائي للمعادن التى تنشر فى الصــخور. ويعــد معدن الـهيمـاتيت hematite أحد أهم المعـادن التى تلون الصخور الرسـوبية وينتج عنه ألوان حمراء أو وردية. وينتج عن وجـود الليمونيت limonite تلّون الصخور بـلون أصفر. وتعطى معادن المنجـنيز ألوانا ذات درجات متبـاينة من اللون القرمزى purple. أما الصـخور التى تحتـوى على محتوى عـالٍ مـن المواد العضــوية (مثل الطفلة الكربونيـة) فتكون فى العـادة ذات لون رمادى أو أسـود. وبالإضافـة إلى ذلك فقـد تؤثر عـمليات التـجويـة على اللون القشـيب للصخر، لكنه مع عمليات الأكسدة، ونتيجة لعـملية التجوية الكيميائية يصبح لونه بنيا ضاربا إلى الإصفرار على سطحه المجوى weathered surface.

•الحفريات Fossils

الحفـريات هى بقايا النـباتات والحيـوانـات القديـمة، وهى الأجزاء الصــلبة القابلة للحـفظ من الكائنـات الحية التى كانت تـعيش فى عصور ما قـبل التاريخ، والتى عاشت فى المنطقة التى جمعت منهـا بقاياها (شكل ٣٧). ولقد خلّفت نـسبة ضئيلـة فقط من النباتات والحيـوانات بقايا لها عبـر التاريخ الجيولوجى، وأغلـبها تنتمى إلى البيئة البحرية.



شكل (٣٧)

ترايلوبيته حفرية مميزة لحقب الحياة القديمة

الفصل الخامس

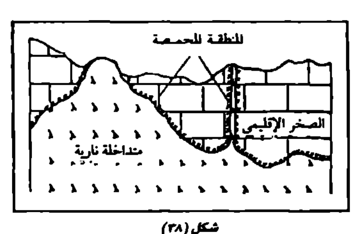
التحول والتحرف القشرى

METAMORPHISM AND CRUSTAL DEFORMATION

الصخور المتحولة هى صخور كانت رسوبية أو نارية أصلا، دفنت فى الأعماق السحيقة لباطن الأرض حيث تعرضت إلى درجات حرارة عالية جدا وضغط شديد. وتحت هذه الظروف الفيزيقية تحدث تغيرات كبيرة فى الصخور المتصلبة، وهذه التغيرات يشملها مصطلح «التحول» metamorphism (كلمة meta من اللغة الإغريقية معناها تغير change، وكلمة morphe معناها شكل) ويتعرض الصخر الأصلى فى أثناء عملية التحول إلى تغيرات فيزيقية وكيميائية تغير من نسيجه الصخرى ومن لونه وبنيته، وحتى التركيب الكيميائى تشمله هذه التغيرات. وعليه، فالحجر الجيرى يتحول إلى رخام، والحجر الرملى يتحول إلى الكوارتزيت. والآن دعنا نتناول بالدراسة أهم أنواع القوى التى يمكنها إحداث التغيرات التحولية metamorphic changes.

١- التحول بالتماس Contact Metamorphism

حينما يغزو جسم نارى صخر المنطقة (الصخور الرسوبية المحيطة بتدخلات نارية)، فإن صخر المنطقة تحدث له تغيرات كبيرة، فمثلا الحجر الجيرى الذى تخترقه صهارة ملتهبة قد يتحول لمسافة تمتد من بوصات قليلة إلى أميال عديدة من خط التماس بين الصخر الرسوبى والصهارة الملتهبة. وبعض أنواع الصخور المتحولة قد تكونت بهذه الطريقة فيما يعرف باسم «المنطقة المحمصة» baked zone من صخر المنطقة المتحول (شكل ٣٨).



شكل (٣٨)
منطقة محمصة فى صخر إقليمى يحيط متدخلة نارية

وقد تنتج التـغيرات الفيـزيقية من التحـول بالتماس عندما تتـخلل الـوائل الصهارية المعادن الأصليـة. لصخر المنطقة مما يحدث لها عمليـة إعادة تبلور غالبا. هذه العملية التى يـنتج عنها إما معادن جـديدة وإما بلورات معدنية أكـبر مما كانت عليه قبل هذه التـغيرات، تؤدى إلى تغير كـبير فى نـسيج الصخـر، وبالإضافة إلى ذلك، فإن الـوائل الصهارية تضيف عناصر ومركبات جديدة، وهذه تؤدى بدورها إلى تعديل التركيب الكيميائى للصخر الأصلى ومن ثم تكوين معادن جديدة.

وتـسمى منطقـة التمـاس باسم «الهالة» aureole، وهى التى تحيط بالصـخر النارى المتدخل، وتكوّن عامة صـخر الهورنفلس hornfelse، وهـو صخر نارى غليظ التحـبب بالقرب من المتدخـلات النارية، ويتدرج إلى صخور رقطاء تحـتوى على معادن مثل البيوتيت والكورديريت.

٢- التحول الديناميكى (الحركى) Dynamic (or Kinetic) Metamorphism

يحدث التحول الديناميكى حينما تتعـرض طبقات الصخر إلى تحرفات بنيوية structural deformation أثناء تكون سلاسل الجـبال. ويتـسبب الضغط الناتج عن طى طبقـات الصخر وتشـققها وتجـعدها فى إحداث تحـولات معقدة ذات انتـشار عظيم. مثل هذه الضغوط قد ينشـأ عنها تمزيق وتحطيم الصخور، وكذلك طمـس أى دليل على وجود حفريات أو تطبق فى الصخور، وإعادة ترتيب حبيبات المعادن وزيادة درجة صلابتها. ونظرا لأن هذا النوع من التحول يحدث على نطاق إقليمى كبير نـسبيا، فإنه يسمى التحول الإقليمى regional metamorphism.

٢- تأثيرات التحول ونواتجه Effects and Products of Metamorphism

تعتمد التأثيرات التى يحدثها التحول بدرجة كبيرة على الخصائص الفيزيقية والكيميائية للصخر الأصلى، وكذلك على عامل التحول ودرجته. وأهم التغيرات الأساسية هى التى تطرأ على النسيج الصخرى والتركيب الكيميائى للصخر. وتحدث عملية إعادة ترتيب لبلورات المعادن فى أثناء التحول، فقد تصبح البلورات متورقة foliated أو لامتورقة non-foliated.

• الصخور المتحولة المتورقة Foliated Metamorphic Rocks

الصخور المتورقة هى تلك التى تسطح معادنها أو تسحب وتترتب فى طبقات متوازية أو شرائط. وتوجد ثلاثة أنواع من التورق هى:

أ- تورق أردوازى ب- تورق شيستوزى ج- تورق نيسوزى.

وفيما يلى وصف لهذه الأنواع الثلاثة بالإضافة إلى بعض الصخور الشائعة التى توجد فيها هذه الأنواع من التورق:

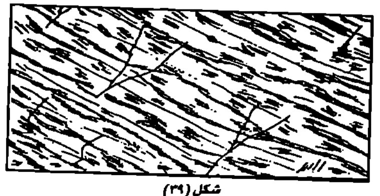
أ- الأردواز Slate

هو طفلة متحولة، يتميز بنسيج دقيق جدا، حيث لا يمكن التعرف على المعادن المكونة له بالعين المجردة. ولا يظهر الأردواز بنية شريطية banding، لكنه يتمفصل بسهولة إلى رقائق رفيعة. ويوجد الأردواز فى ألوان متعددة، لكنه يكون عادة رماديا أو أسود أو أخضر أو أحمر. ويتميز الأردواز بتشقق أردوازى slaty cleavage (وهو يختلف عن التشقق الموجود فى المعادن)، مما يجعله مناسبا لصناعة الأسقف وصناعة السبورات، كما يصلح لرصف الطرق.

ب- الشيست Schist

الشيست صخر متحول متورق متوسط التحبب إلى غليظ التحبب، يتكون تحت ضغوط عظيمة أكبر من تلك التى يتكون عندها الأردواز. ويتكون الشيست أساسا من معادن ميكائية micaceous فى ترتيب متواز يسمى الشستزة schistosity (شكل ٣٩) ويتفلق الشيست بسهولة على طول مستويات الشستزة (التورق) التى تنثنى وتتجعد. وقد ينشأ صخر الشيست عن صخور نارية دقيقة التحبب بالإضافة

إلى منشئة من الأردواز. وتسمى هذه الصخور الشيتية تبعا للمعدن الأكثر وفرة فيها، مثل شيت الميكا mica schist وشيت الكلوريت chlorite schist وهكذا.



شكل (٣٩)
شيست، صخر متحول متورق

• شيست الميكا جارنت Garnet Mica Schist

يحتوى هذا الصخر على معدن سليكاتى هو الجارنت garnet وأفضل بلورات الجارنت تكون شفافة ولونها أحمر ياقوتى ruby red وهو حجر شبه كريم، وتستخدم بلورات الجارنت ذات الدرجة الأدنى مادة ساحجة.

• الفيلليت Phyllite

اشتق الاسم من أصل إغريقى (كلمة phyllon ومعناها ورقة leaf). وصخور الفيلليت تكون دقيقة التحبب وأكثر دقة من صخور الشيت، لكنها تكون أكثر غلظا فى تحببها من الأردواز. ولصخور الفيلليت بريق حريرى لامع مميز لسطوحها القشية (المكسورة حديثا)، ويرجع ذلك إلى وجود حبيبات دقيقة من معادن الميكا، تكون معظمها من الطفلة التى تعرضت إلى ضغوط عالية أكثر من الضغوط اللازمة لتكوين الأردواز، لكنها ليست بالشدة التى تكفى لتكوين الشيت.

جـ- النيس Gneiss

صخر متحول بدرجة عالية ,غليظ التحبب له بنية شريطية. ويتميز هذا الصخر بوجود شرائط متبادلة من معادن دكناء مثل الكلوريت والبيوتيت أو

الجرافيت وتوجد هذه الأشرطة على هيئة مطوية ومثنية (شكل ٤٠) وبالرغم من أن بعض صخور النيس قد تشبه صخور الشيست، إلا أنه لا يسهل تشقق طبقاتها بسهولة. وقد يكون وجود البنية الطبقية فى صخر النيس دليلا على وجود الطباقية فى الصخر الرسوبى الأصلى، أو قد يكون راجعا إلى تبادل معادن حائلة اللون مع أخرى دكناء فى الصخر النارى الأصلى الغليظ التحبب والذى تحول بعد ذلك إلى صخر النيس.

وبوجه عام، فإن صخر النيس قد تعرض لدرجة كبيرة من التحول أكثر من صخور الشيست، وإنه تكوَّن نتيجة للتحول الإقليمى الشديد.



شكل (٤٠)

النيس، صخر متحول ذو نسيج متطبق

• الصخور المتحولة غير المتورقة Non-Foliated Metamorphic Rocks

هذه صخور متحولة كتلية تماما أو حبية فى نسيجها ولا يوجد بها تورُّق. وبالرغم من تشابه بعض الصخور المتحولة غير المتورقة مع صخور نارية معينة، إلا أنه يمكن التفرقة بينهما على أساس التركيب المعدنى.

• الكوارتزيت Quartzite

يتكون الكوارتزيت من تحول الحجر الرملى، وهو أحد أكثر الصخور مقاومة، ويتكون من كتل متبلورة من حبيات الرمل الملتحمة جيدا بعضها مع بعض. وحينما يتكون الكوارتزيت من الكوارتز النقى، فإنه يكون أبيض اللون. ومع ذلك فقد يتخذ ألوانا مختلفة مثل الأحمر والأصفر والبنى، ويرجع ذلك إلى

وجود الشـوائب التى تصبغ الصـخر بهـذه الألوان. وتـسمى صخـور الكوارتزيت المتحولة باسم ميتا كوارتزيت metaquartzite، وذلك للتفرقة بيـنها وبين صخور الأرثوكوارتزيت الرسوبية.

جدول رقم (٣): بعض الصخور النارية والرسوبية الشائعة ومكافئاتها المتحولة

الصخر الأصلى	الصخر المتحول
الحجر الرملى	كوارتزيت
الطفلة	اردواز - فيلليت - شيست
الحجر الجيرى	الرخام
الفحم البتيومينى	فحم أنثراسيت وجرافيت
الصخر الأصلى النارى	
صخور نارية ذات نسيج جرانيتى	نيس
صخور نارية ذات نسيج مموج	شيست

• الرخام Marble

صخر جيرى متبور غليظ التحبب نسبيا. وهو حجر جيرى أو دولوميت متحول. ويتكون نتيجة لعملية إعادة التبلور. وفى هذه الصخور تتحطم كل الأدلة الحفرية والتطبق أثناء عملية التحول.

ويكون الرخام أبيض اللون حال كونه نقيا، لكن وجود الشوائب يكسب الرخام مدى واسعا من الألوان المختلفة.

• الأنثراسيت Anthracite

حينما يتماسك الفحم البتيومينى أو الفحم غير الصلب، فإنه ينثنى ويسخن ويتحول إلى الأنثراسيت أو الفحم المتصلب. ونظرا لتعرضه لعملية كربنة شديدة،

فـمحـتـواه الكربونى يكـون عاليـا وثابتا؛ وغـالبا مـا تكون كل المواد المتطايرة قـد تصاعدت منه تقريبا.

٤- الحركات القشرية والتكتونية Crustal Movements and Tectonism

تعرضـت القشـرة الأرضية إلى تغيرات بنـيوية كبيرة خلال الأزمنة الماضيـة من تاريخ الأرض. وحتى اليوم، فإن القشـرة الأرضية تتغير باسـتمرار بثلاث من القوى الرئيـسـية:

الهدم والبناء gradation، والبركنة volcanism، والتكتـونية tectonism. ولقد سبق وأن تحدثنا عن الهدم والبناء والبركنة فى فصول سابقة من هذا الكتاب.

والآن نرى كيف أثرت القوى التكتونية فى الأرض. وكما هو معروف، فإن التكتـونية تشـمل العمليـات التى يـنـتج عنها تحـرف القشــرة الأرضيــة؛ وتحدث الحركات التكتونية ببطء عادة وتستـمر لفترة طويلة من الزمن، لكن بعضها - على سبيـل المثال - مثل الزلازل تحدث فـجأة وبعنف. وفى بعض الحالات قد تـتحرك الصخور رأسيا، فينشأ عن ذلك صـعود أو هبوط للكتل القارية. وقد تكون الحركة جانبية أو أفـقية نتيجة لقـوى التضاغط أو الشد. والنمطان الرئيـسـيان من الحركات التكتونية هما: الإبيروجينية Epeirogeny وهى حركات أرضية رأسية والثانية هى الأوروجينية Orogeny وهى حركات جانبية أساسا.

• الحركات الإبيروجينية Epeirogenic Movements

هـذه حركـات بطيئة نـسـبيا يصاحبـها رفع للقارات أو غمـر لها وتؤثر هذه الحركات على مـساحات كبيرة نـسبيا وينتج عنها إمالة أو التواء للكتل البرية.

وعمليـة الرفع فى الحركات الإبيـروجينية تؤدى إلى رفع المتصـات المقطوعة بالموج wave-cut benches ورفع الجـروف البحـرية إلى مـا فوق مـسـتـوى سـطح البحر.

وتوجد نماذج من هذا النوع يشيع وجودها على طول أجزاء معينة من ساحل المحيط الهـادى لأمريكا الشـمالية. وهناك أجزاء من الســاحل الاسكندنافى ترتفع لأكثر من ثلاثة أقدام فى كل قرن. وقد يحدث هبوط للقارات أيضا. وعليه، فهناك

مناطق من القارات تهبط ببطء تحت المحيط وتصبح مغمورة بالبحار الضحلة. وهناك حركات مماثلة سببت انفصال الجزر البريطانية عن القارة الأوربية. (وقد يحدث الهبوط أيضا نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر).

ويلاحظ أن الطبقات الصخرية التى تتأثر بالحركات الإبيروجينية لا تطوى أو تتصدع بشدة فى العادة. لكنه وكما ذكر سابقا، فإن مثل هذه الطبقات قد تتعرض للإمالة أو الالتواء بدرجة كبيرة.

• الحركات الأوروجينية Orogenic Movements

هذه الحركات تكون أكثر شدة من الحركات الإبيروجينية، وتتعرض الصخور فى هذا النوع من الحركات إلى إجهاد كبير. وتعرف هذه الحركات باسم الحركات البانية للجبال، وعادة ما تؤثر على مناطق ضيقة ممتدة ويصاحبها دائما عمليات طىّ وتصدّع كثيرة. وهذا النوع من اضطراب القشرة الأرضية قد يصاحبه نشاط نارى وزلازل. وبالرغم من بطء الحركات الأوروجينية، إلا أنها تحدث بسرعة أكبر قليلا من السرعة التى تحدث بها الحركات الإبيروجينية.

٥- البنيات الصخرية التى تسببها القوى التكتونية

Rock Structures Produced by Tectonism

تؤدى الحركات التكتونية سواء أكانت إبيروجينية أم أوروجينية إلى حدوث التحرفات الصخرية. وفى الظروف السطحية تكون الصخور العادية هشة فتصدعً، أو تتكسر لو تعرضت لإجهادات شديدة. أما الصخور المدفونة فى الأعماق، فهى على أى حال تتعرض لدرجات حرارة عالية وضغط شديد مما يجعلها لدنة plastic، وإذا استمر تعرض هذه الصخور لإجهاد طويل المدى فإنها تعوج أو تطوى بدلا من أن تتصدع.

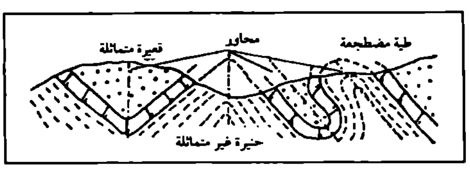
• الاعوجاج Warping

ينشأ الاعوجاج عادة نتيجة رفع أو خفض مساحة واسعة من القشرة الأرضية. وتبدو الطبقات الصخرية فى مثل هذه المناطق كأنها أفقية أساسا، لكن الدراسات التفصيلية المدققة توضح أن هذه الطبقات أصبحت مائلة بلطف.

وحركـات الاعوجاج هى من النوع الإبـيروجينى وعادة مـا يصاحبـها أو لا يصاحبها قليل من الطى والتصدع المحليـن.

• الطى Folding

قد لا يحدث للصخور إمالة أو اعوجاج فقط، لكنها تطوى أيضا (شكل٤١) وتختلف الطيات كثيرا فى درجة تعقيدها وحـجمها وتكون الطيات حينما تتجعد الصخور وتلوى فى سـلاسل لها بنيات تشبـه الموجات. وتنشأ هذه البنيات نتـيجة لقوى تضاغطية أفقية ينتج عنها العديد من البنيات المختلفة.

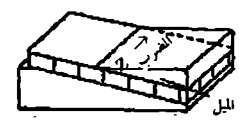


شكل (٤١)
انواع الطيات

• الحنائر Anticlines

هـى صخـور مطوية إلـى أعلى (شكل٤١) أمـا القعائر synclines (شكل ٤١ أيضا) فتنشأ عندما تطوى طبقات الصـخور إلى أسفل. وتـسمى الحنائر الكبـيرة العريضـة والتى تغطى مـساحات شـاسـعـة باسم الحنائر العظمى geoanticlines، ومثيلتها الكبيرة التى تطوى إلى أسـفل فتـسمى القعائر العظمى geosynclines. وقد ترسـبت رواسـب لـها سمك عظيم وتراكـمت فى بعض القعـائر العظمى فى الزمن الجيـولوجى الماضى، وارتفع بعـض من هذه الرواسب السـميكة وكون سـلاسل الجبال المطوية. ومثل هذه القعائر العظمى شغلت أجزاء كثيرة من بريطانيا فى أثناء الحقب البـاليوزوى، وامتـدت من أيرلندا عبـر ويلز إلى اسكتلندا والنرويج. وهذا السـمك الهـائل من الرواسب التى تكونت فى القعـائر العظمى تتعـرض فى النهاية إلى عمليات الرفع والطى مكونه المناطق الجبلية.

وعند دراستنا للطيات، لابد أن نكون قادرين على تحديد «وضع» attitude طبقات الصخر، وكلمة «وضع» مصطلح يستخدم لتحديد وضع الصخر بالنسبة لاتجاه البوصلة والمستوى الأفقي. ويعرّف بأنه المضرب strike والميل dip (شكل ٤٢) ومضرب تكوين ما هو اتجاه البوصلة للخط الناتج عن تقاطع مستوى التطبق مع المستوى الأفقي. والميل dip هو زاوية الميل بين مستوى التطبق والمستوى الأفقي ويكون اتجاه الميل دائما عموديا على المضرب. وطبقا لذلك فإن الطبقة الصخرية التي تميل جهة الشمال يكون مضربها شرق - غرب.

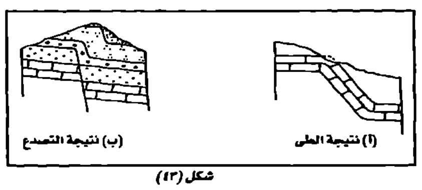


شكل (٤٢)
المضرب والميل، مضرب لطبقات شمال- جنوب والميل إلى الشرق

وهناك أنواع أخرى من الطيات تشمل أحاديات الميل monoclines والقباب Domes.

• أحادي الميل Monocline

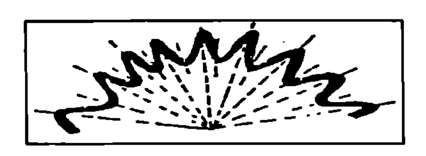
هو طية بسيطة تشبه الدرج step-like، وتميل في اتجاه واحد فقط. وهناك مثالان من أصلين مختلفين لأحاديات الميل يشاهدان في خليج الجرف الأبيض White Cliff Bay (جزيرة وايت Isle of Wight) بإنجلترا. وهذا نشأ عن الطي (شكل ٤٣أ). أما الموجود على رصيف لندن London Platform أسفل صخور الباليوزوي فقد تحرك على طول خط صدع (شكل ٤٣ب).



شكل (٤٣)
احاديات الميل

• القبة Dome

هى طية تميل طبقاتها بعيدا عن مركز مشترك. والقبة المتحاتة والمعروفة باسم «ويلد» Weald، بين شمال وجنوب دونز «Downs» هى حنيرة مركبة Anti-clinorium وكانت أساسا حنيرة ضخمة وبها طيات صغيرة عديدة وصدوع. وهناك أحواض ضخمة متشابهة مثل حوض هامبشير Hampshire Basin تسمى القعائر المركبة synclinoriums (انظر شكل ٤٤) وقد تكون الحنائر والقعائر متماثلة (أى الميل فى كل طرف منها واحد) أو غير متماثلة. وإذا كانت الطية الحنيرية تميل فى اتجاه ثانوى يقال إنها غاطسة Pitched وتسمى الطية مضطجعة recumbent عندما يحدث لها طى متزايد بحيث توجد الصخور الأقدم فوق الصخور الأحدث (شكل ٤١). ويتكون جزء من جرامپيانز Grampians من طية مضطجعة كبيرة.



شكل (٤٤)
رسم تخطيطى للحنائر المركبة

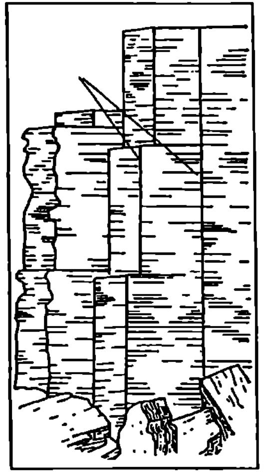
• التشدخ (التشقق) Fracturing

تصبح الصخور الموجودة قرب السطح والمعرضة لإجهاد كبير، قابلة للتشدخ، وبذلك تتكون فيها صدوع ومفاصل. والشدخ الذى لا تحدث عليه حركة أو تحدث عليه حركة بسيطة يسمى مفصل joint (شكل ٤٥).

وتوجد المفاصل فى مجموعات ويوازى بعضها البعض عادة. وتحدث تشدخات من هذا النوع فى الصخور النارية نتيجة الانكماش بسبب البرودة، ويشيع وجودها فى بعض الجدد القاطعة والجدد الأفقية sills. وتنتج المفاصل أيضا بسبب

الشد tension والتضاغط compres-sion، حينما تتعرض الصخور للإجهاد والاعوجاج والطى والتصدع.

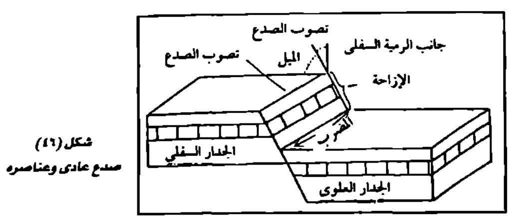
وتتكون نظم (أطقم) المفاصل حينما تتقاطع مجموعتان أو أكثر من المفاصل. وتفيد هذه النماذج من المفاصل المتقاطعة فى العمليات الخاصة بالمحاجر وفى زيادة المسامية فى الصخور غير المنفذة؛ كذلك تساعد المفاصل على تسهيل عملية التجوية والتحات، حيث تساعد على جعل الصخر أكثر قابلية للتأثر بالأمطار والصقيع والمياه الجارية.



شكل (٤٥)
مفاصل رأسية فى الحجر الجيرى

● الصدوع Faults

هذه شدوخ (شقوق) فى القشرة الأرضية تحدث إزاحة للصخور على امتدادها. (شكل ٤٦) وتتحرك الصخور المتأثرة بالتصدع على طول مستوى الصدع. وإذا كانت إزاحة القشرة رأسية، فإن الصخور الموجودة على أحد جانبى الصدع قد تصبح أعلى من تلك الصخور الموجودة على الجانب الآخر منه. وهذه العملية تؤدى إلى تكون جرف cliff يسمى أحدور صدعfault scarp. وإذا كان التصدع من هذا النوع وعلى مقياس كبير فقد يؤدى إلى تكوين جبال الصدوع الكتلية fault-mountains. ويوضح (شكل ٤٦) المصطلحات المستخدمة فى وصف الصدع. و يسمى سطح الصخر الذى يحد الجانب السفلى لمستوى صدع مائل باسم الجدار السفلى footwall، ويسمى السطح الذى يعلوه باسم الجدار المعلق hanging wall. ومضرب الصدع هو الاتجاه الأفقى لمستوى الصدع، ويقدر الميل بقياس ميل مستوى الصدع فى اتجاه عمودى على

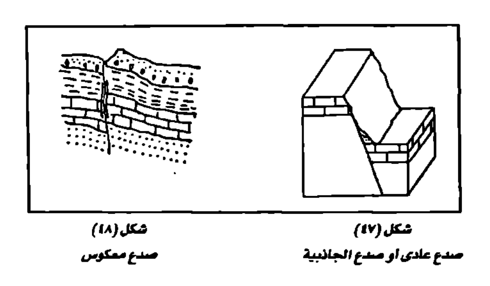


شكل (٤٦)
صدع عادى وعناصره

المضرب. ومهوى الصدع Hade هو أقصى ميل لمستوى الصدع بالنسبة للاتجاه الرأسى(وبالتالى فهو المكمل لزاوية الميل). وإزاحة الصدع displacement هى مقدار الحركة التى حدثت على طول مستوى الصدع. وتؤدى الإزاحة إلى وجود جانب الرمية السفلية وجانب الرمية العلوية ٠وهذه المصطلحات نسبية تماما، حيث إنه لا يكون من الممكن دائما معرفة الطريقة التى تحرك بها الصدع. وتصنف أنواع الصدوع العديدة على أساس اتجاه الصخور على امتداد مستوى الصدع وحركتها النسبية.

فالصدع العادى أو صدع الجاذبية هو الصدع الذى يكون فيه الجدار المعلق قد تحرك إلى أسفل بالنسبة للجدار السفلى (شكل ٤٧).

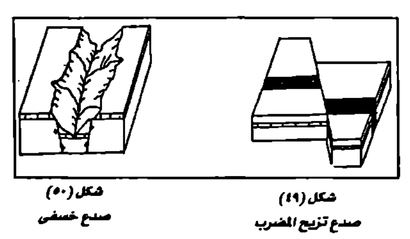
وإذا كان الجدار المعلق قد تحرك إلى أعلى بالنسبة للجدار السفلى، فيسمى الصدع عندئذ بالصدع المعكوس thrust. (شكل ٤٨).



شكل (٤٨)
صدع معكوس

شكل (٤٧)
صدع عادى او صدع الجاذبية

وهناك صدع المضرب المنزلق strike - slip الذى ينشأ عندما تكون الحركة الأفقية السائدة موازية لمستوى الصدع (شكل ٤٩) وفى بعض المناطق، قد يحدث سقوط لكتلة طويلة ضيقة بين صدوع عادية فتؤدى إلى تكوّن أخدودgraben (شكل ٥٠) وإذا كان الأخدود على مقياس كبير فيسمى وادى الخسف rift valley.

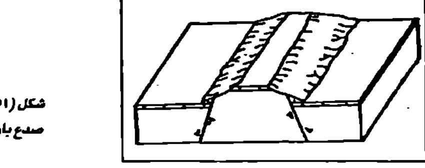


شكل (٥٠)
صدع خسفى

شكل (٤٩)
صدع تزيح المضرب

وهناك مثالان من الأخاديد هما وادى الراين العلوى Upper Rhine Valley والمنخفض المحتوى على البحر الميت Dead Sea. وفى بعض الأحيان قد ترتفع كتل بين صدوع عادية، وتسمى هذه الكتل التى ارتفعت باسم النتق Horst (شكل ٥١).

ومن أمثلة ذلك، نتق منطقة فوسجى Vosges فى فرنسا، والغابة السوداء Black Forest فى ألمانيا وكذلك غابة تشارن وود Charnwood Forestفى ليسيستر شاير Leicestershire بإنجلترا حيث تظهر كتلة من صخور ما قبل الكمبرى من خلال الصخور الأحدث منها.



شكل (٥١)
صدع بارز

٦- أدلة التحركات القشرية Evidences of Crustal Movements

تبدى صخور القشرة الأرضية كثيرا من الشواهد التي توضح أن كثيرا من الحركات التكتونية حدثت فى الماضى الجيولوجى. وعلى سبيل المثال، فنحن نعلم أن بقايا متحفرة لنباتات وحيوانات بحرية وجدت فوق مستوى سطح البحر بآلاف الأقدام. ومما هو شائع أيضا، شواطئ الرفع elevated beaches والوديان الساحلية coastal plains، والجروف المقطوعة بالموج wave-cut cliffs، والكهوف البحرية. ومثل هذه المعالم تدل بشدة على هبوط مستوى البحر أو على ارتفاع قارى uplift of the continent، ومن الممكن حدوث كليهما. وبالمثل، فإن وجود وديان الأنهار المغمورة بالماء drown rivers valleys يدل إما على ارتفاع منسوب البحر أو / و هبوط فى الكتلة القارية. كذلك فإن حدوث الزلازل يؤخذ دليلا على حركات متشابهة تحدث فى أيامنا هذه. ويوجد مثال طيب فى منطقة خليج ياكوتات فى آلاسكا Yakutat Bay، ففى عام ١٨٩٩ م أدت عملية التصدع التى حدثت هناك إلى ارتفاع بعض أجزاء من الساحل لأكثر من ٤٧ قدما. وبالمثل، ففى خلال الزلزال الذى ضرب سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦، حدثت إزاحة أفقية على طول مستوى الصدع، مما أدى إلى تغير مكان بعض الأسوار Fences والطرق لمسافة ٢٠ قدما تقريبا.

وبالرغم من أن بريطانيا لا تعد من أماكن أحزمة الزلازل، إلا أنه منذ سنوات قليلة مضت، حدثت بعض الهزات الضعيفة فى القنال الإنجليزى، نتج عنها تحطيم النوافذ فى بورتسموث Portsmouth ، ولوحظت كذلك ذبذبات ضعيفة داخل الجزيرة البريطانية امتد أثرها لمسافة ٢٠ ميلا إلى الداخل.

وتوجد الآن أجهزة سيزموجراف نصبت فوق سطح القمر لقياس الزلازل القمرية التى تحدث على القمر.

٧- أسباب الحركات القشرية Causes of Crustal Movements

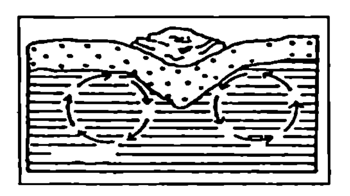
بالرغم من وجود أربع نظريات لتفسير أسباب حدوث الحركات التكتونية، إلا أنه يجب أن نضع فى اعتبارنا أن الجيولوجيين، لم يتفقوا على السبب الصحيح فى كل نظرية، وقد يكون ذلك راجعا إلى أن الحركة التكتونية فى منطقة ما قد نشأت عن سببين أو أكثر، وربما يكون نتيجة لسبب آخر غير معلوم.

أ- نظرية الانكماش Contraction Theory

طبقا لهذه النظرية، فإن الصخور الخارجية للقشرة الأرضية، تتجعد Crum- pled نتيجة لبرودة الجزء الداخلى من الأرض ومن ثم انكماشه. وقد ينشأ الانكماش نتيجة للضغوط الهائلة التى تؤثر فى الأرض وكأنها تعصرها مما يقلص من حجم الأرض وبالتالى يؤدى إلى انكماشها. . أو قد يكون السبب هو الصخور النابطة extrusive التى تخرج إلى سطح الأرض.

ب- نظرية الحمل الحرارى Convection Theory

تقترح هذه النظرية أن تيارات الحمل فى الصخور المنصهرة تحت سطح القشرة الأرضية، تتسبب فى تمدد الصخور الصلبة قرب سطح الأرض واندفاعها إلى أعلى. وتنشأ الحرارة اللازمة لإحداث تيارات الحمل من الاضمحلال الإشعاعى radioactive decay للعناصر مثل اليورانيوم . وطبقا لهذه النظرية، فإن تيارات الحمل الدوارة circulating ينشأ عنها سَحْبٌ احتكاكى frictional drag تحت سطح القشرة، وبالتالى تنشأ عنه إزاحة قشرية crustal displacement (شكل ٥٢).



شكل (٥٢)

تيارات الحمل فى الوشاح الصخرى (بالأسهم)
وعلاقتها بالقشرة الأرضية

جـ- نظرية الانجراف القارى Continental Drift Theory

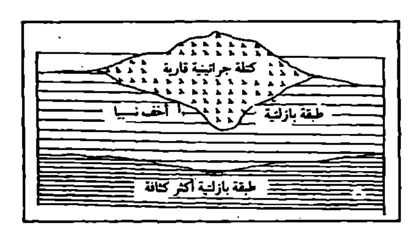
تفترض هذه النظرية أنه كانت هناك أصلا قارة واحدة هائلة، ثم تكسرت هذه القارة إلى أجزاء عديدة انجرفت بعيدا بعضها عن البعض. وكان هذا الانجراف

أو «الطفو floating» ممكنا، حيث إن القارات تتكون إلى حد كبير من الجرانيت وكثافته أقل من كثافة المواد البازلتية التى توجد أسفل الجرانيت. ومع تحرك مقدمة الكتلة البرية المنجرفة إلى الأمام، يحدث سحب احتكاكى للمواد التى تحت القشرة ويؤدى ذلك إلى تجعد الحافات القارية فتكونت بذلك سلاسل الجبال الساحلية المطوية لأوروبا وأمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية. وإذا نظرنا إلى نموذج الكرة الأرضية، فإننا سوف نرى كيف نشأت هذه الفكرة، وسوف نلاحظ أن خطوط الساحل على كل من جانبى المحيط الأطلنطى تتشابه جيدا بشكل مثير للدهشة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض أحزمة الجبال الأقدم فى أمريكا، تظهر وكأنها استمرار لأحزمة جبال شبيهة بها فى القارات الشرقية. وهناك أدلة أكثر لتوضيح هذه النظرية من حقائق اكتشفت أخيرا (فى خريف ١٩٦٩) فى القارة القطبية الجنوبية Antarctica حيث وجدت بقايا حيوان برمائى من الدور الجوراسى لم يوجد سابقا إلا فى أميركا وأفريقيا. ويعتقد أن هذا المخلوق قد دخل إلى المنطقة حينما كانت الكتل البرية متصلة. ولو كان الأمر كذلك، فإن عملية انفصال القارات لا بد وأن تكون قد حدثت فى الدور الجوراسى أو بعده. وهناك أدلة أخرى تعضد نظرية الانجراف القارى، مثل تطور القرود فى أماكن مختلفة من العالم.

د- توازن القشرة الأرضية Isostasy

تنص نظرية توازن القشرة الأرضية على أنه عند عمق معين من الأرض، تكون أجزاء مختلفة من القشرة فى حالة توازن مع أجزاء أخرى غير مساوية لها فى السمك (الثخانة). وتفسر الاختلافات فى الارتفاع لهذه الأجزاء القشرية بأنه نتيجة للاختلافات فى كثافتها. وتبعا لذلك، فإن القارات والمناطق الجبلية تكون عالية لأنها تتكون من صخور أخف، وأحواض المحيطات تكون أكثر انخفاضا. لأنها تتكون من صخور أعلى كثافة (أثقل) (شكل ٥٣). وعندما يحدث تحات للقارات وتراكم الرواسب فى المحيطات، فإن قاع المحيط ينخفض بسبب الوزن المضاف من الرواسب المتراكمة. وهذا يسبب إزاحة الصخور تحت القشرية اللدنة، والتى تدفع القارات إلى أعلى. وتساعد عمليات التحات التى تزيل المواد الصخرية على عملية إزاحة القارات إلى أعلى، وبالتالى تجعل القارات أخف ولها قابلية أكثر لعمليات الرفع إلى أعلى. ونظرا لأن عمليات الضبط الأيزوستاتيكى

Isostatic Adjustment تكون أساسا رأسية فى طبيعتها، فإن هذه النظرية لا تفسر تأثير قوى التضاغط الأفقية. ومع ذلك فإن نظرية توازن القشرة الأرضية تعطى بعض التفسيرات لعدم تكون سطح متوٍ دائم لوجه الأرض كنتيجة لتحات القارات وما يتبع ذلك من ترسيب فى أحواض المحيطات.



شكل (٥٣)
صخور جرانيتية قارية خفيفة نسبيا ترتكز على
صخور بازلتية أعلى كثافة

ومن الجدير بالذكر أن عملية إعادة الضبط الأيزوستاتيكى readjustment isostatic الذى تبع نهاية العصر الجليدى، يعتقد أنها قد تكون السبب فى عملية رفع اسكاندنافيا، ويتوقع أن تتسبب هذه العملية فى رفع المنطقة مئات عديدة أخرى من الأقدام قبل أن تعود إلى حالة التوازن.

وقد جرت مناقشات علمية كثيرة لبحث أصل فحم الأنثراسيت، فبعض العلماء يضعونه ضمن الصخور الرسوبية، والبعض يصنفونه مع الصخور المتحولة، لكن لا يزال النقاش مستمرا والمسألة فى حاجة إلى المزيد من البحث.

الفصل السادس

التجوية وتكوين التربة

WEATHERING AND SOIL FORMATION

تعد التجوية من أهم العمليات الجيولوجية التى تؤدى إلى تفكك الصخور على سطح الأرض بفعل عوامل فيزيقية أو كيميائية، كذلك تعد مصدرا لمعظم المواد التى تكون الصخور الرسوبية. وعملية التجوية مهمة أيضا فى تشكيل سطح الأرض، وهى المسئولة عن تكوين التربة. والكُسارة الصخرية التى تنتج عن عملية التجوية، قد تنقل من أماكنها بواسطة عمليات التحات. وباستمرار عمليات التجوية والتحات فى عمليهما فإن ذلك يؤدى إلى بلى وتفكك صخور سطح الأرض. وفى هذا المجال لابد أن نذكر فعل الماء والرياح والثالج فى عملية التعرية؛ وسوف نتناول ذلك بالدراسة فى الفصلين السابع والثامن من هذا الكتاب.

١-التجوية الفيزيقية Physical Weathering

تحدث التجوية الفيزيقية أو الميكانيكية mechanical عندما تتفتت الصخور إلى كسر أصغر وأصغر دون أن يطرأ تغير فى تركيبها الكيميائى؛ ويعرف هذا النوع من التجوية باسم التفكك. وتنشأ التجوية نتيجة للعديد من العوامل الفيزيقية:

- **فعل الصقيع Frost Action**

عندما تتجمد المياه فى شقوق الصخور وفى فجواته، فإنها تتمدد. وقد يصل الضغط الناشئ عن هذا التجمد إلى نحو ٢٠٠٠ رطل / البوصة المربعة.

وهناك نوعان لعملية التمدد هذه، هما: التجمد بالدسر (الحشر) frost - wedging، والتجمد بالانتفاخ frost - heaving. وينتج عن هذين النوعين من التمدد ضغط كاف لتفكك الصخور وتفتيتها. ففى النوع الأول (التجمد بالدسر) يكون الضغط موجها جانبيا، أما فى النوع الثانى (التجمد بالانتفاخ) والذى يحدث عادة فى الصخور غير المتصلبة، فإن الضغط الناشئ يكون اتجاهه إلى أعلى، مما قد يسبب دمارا فى الأساسات والمنشآت. كذلك يتسبب فعل الصقيع وأثره فى الصخور فى تكوين الحطام على سفوح الجبال، مثل الموجود حول سنودون Snowdon بإنجلترا. ويؤدى أثر الصقيع مع عوامل أخرى إلى تكوين الركام الصخرى عند سفوح الجروف البحرية، ويعمل المد والجزر على إزالة هذا الركام مما يؤدى إلى تكوين الرصيف الموجى المقطوع wave- cut platform، مثل رصيف ستراندفلات Strandflat فى النرويج.

• التسخين والتبريد المتبادل Alternate Heating And Cooling

فى بعض المناطق، وبخاصة المناطق الجبلية والصحروات، تتعرض الصخور إلى تغيرات حرارية كبيرة ودائمة، نتيجة لانخفاض درجة الحرارة ليلا والتى قد تصل إلى درجة التجمد على قمم الجبال العالية؛ بينما تسخن الصخور أثناء النهار. وتتكرر هذه العملية على مدى زمنى طويل، فيتسبب التمدد والانكماش الصخرى فى تكوين شقوق صغيرة وفراغات تسمح لعوامل فيزيقية أو كيميائية أو حيوية أن تؤدى دورها فى عملية التجوية؛ مثل فعل الصقيع frost action أو عمليات الذوبان. كذلك فإن الحرارة التى تنشأ عن حرائق الغابات والبرارى تساعد على التفكك الفيزيقى للصخور، وأيضا تسبب تقشر بعض الصخور، فينتج عنها أغلفة صخرية منحنية تنفصل عنها بفعل التغيرات الحرارية. وقد ينتج عن ظاهرة تقشر الصخور أصوات حادة ناتجة عن انفلاقها، تسمع بوضوح بالليل كرد فعل للانفلاق. وعلى الرغم من المشاهدات التى أشرنا إليها بخصوص تأثير التسخين والتبريد المتبادل على تفكيك الصخور، فإن علماء الجيولوجيا لا يزالون غير متأكدين من الدور الحقيقى الذى يلعبه الاختلاف فى درجات الحرارة وأثره فى تفتيت الصخور.

• الأنشطة العضوية Organic Activities

تساعد النباتات والحيوانات على تفكك الصخور، كذلك فإن جذور الأشجار التي تنمو بوفرة في شقوق الصخور، يمكن أن تكون عوامل مساعدة في تفتيت الصخور، ويشبه دورها الدور الذى يلعبه الصقيع تماما. والحيوانات القارضة والحفارة مثل الفئران والديدان والنمل، لها القدرة على تفكيك الصخور ونقل فتاتها إلى سطح الأرض، مما يعرض سطوحا جديدة لعملية تجوية جديدة أخرى. ولا بد أيضا من الإشارة إلى أنشطة الإنسان، وما ينشأ عنها من تفتيت للصخور وذلك مثلما يحدث عند إنشاء الطرق واستغلال المناجم والمحاجر، وكذلك استعمال الأرض في أغراض الزراعة.

٢- التجوية الكيميائية Chemical Weathering

ينتج عن التجوية الكيميائية (التحلل decomposition) تغير في التركيب الكيميائي للمعادن الأصلية المكونة للصخر، فتنتج معادن جديدة بدلا من تلك التي تعرضت للتجوية الكيميائية. كذلك فإن التجوية الفيزيقية تؤدى إلى تفكيك الصخر الأصلي وجعله في صورة غير متماسكة مما يساعد على إتمام التجوية الكيميائية. وبالرغم من أن التجوية الكيميائية تتم بطرق كثيرة، إلا أن أشهرها وأكثرها تأثيرا هي عمليات الأكسدة oxidation، والتميؤ hydration والكربنة carbonation، والذوبان solution.

• الأكسدة Oxidation

تحدث عملية الأكسدة عندما يتحد أكسجين الهواء مع المعدن لتكوين أكسيد. والمعادن والصخور المحتوية على مركبات الحديد هي الأكثر عرضة لعمليات الأكسدة والتحلل الكيميائي. وتؤدى أكسدة معادن الحديد إلى تكوين الصدأ Rust. وتعزى الألوان التي تتلون بها الصخور في الطبيعة إلى وجود معادن الحديد التي تلوّن الصخور والتربة بالألوان الصفراء والحمراء والبنية.

وتوجد مركبات معينة مثل البيريت FeS_2، تكوّن أحماضا عندما تتأكسد، وتهاجم الأحماض المتكونة الصخور، مما يعمل على اكتمال عملية التحلل الكيميائي.

• التموه Hydration

يقصد بعملية التموه، اتحاد الماء بأية مادة أخرى. ويتعرض الكثير من المعادن والصخور لعملية التموه فيؤدى ذلك إلى تكوُّن مركبات جديدة وبخاصة السليكات المائية والهدروكسيدات. ومثال ذلك تكون معدن الجبس من معدن الأنهيدريت وتفاعل معدن الهيماتيت مع الماء فيتكون الليمونيت limonite. وتؤدى عملية التموه أيضا إلى تكوين معادن الصلصال من معادن الفلسبار. وينتج عن عملية التموه (إضافة الماء) زيادة فى حجم الصخر وتمدده، وبهذا توجد أماكن ضعف جديدة فى الصخر، مما يعدُّها لسرعة التأثر بالتجوية الفيزيقية.

• الكربنة Carbonation

يتحد غاز ثانى أكسيد الكربون الموجود أساسا فى الجو والماء والتربة مع بعض معادن الصخور فيؤدى ذلك إلى تغير جوهرى فى تركيبها الكيميائى، فتنتج مواد جديدة هى الكربونات carbonates والبيكربونات bicarbonates، بعضها قابل للذوبان فى الماء، مما يؤدى إلى إزالتها بعد ذوبانها فينتج عن ذلك فجوات وشقوق فى الصخور تساعد أيضا على نشاط عمليات التجوية .

ويعد حمض الكربونيك H_2CO_3 الذى ينتج عن اتحاد غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 مع الماء، عاملا مؤثرا فى ذوبان الحجر الجيرى $CaCO_3$ وصخر الدولوميت $CaMg(CO_3)_2$.

• الذوبان Solution

تقوم عملية الذوبان؛ وهى التى تتم بواسطتها إذابة المعادن والصخور، بدور مهم فى التجوية الكيميائية . ومع أن الماء له دور مؤثر فى عملية الذوبان، إلا أن وجود حمض الكربونيك والأحماض الأخرى التى تنتج عن تحلل أجسام الكائنات الحية أو نفاياتها، تعجّل وتساعد فى إتمام عملية الذوبان. وتتم هذه العملية عن طريق الماء الذى يتغلغل فى الصخور، فيزيل مواد صخرية ومعادن وأجزاء من التربة عند نزّ seepage المياه إلى أسفل.

وتعرف التجوية بالذوبان solution weathering باسم الذوبان بالترشيح leaching، حيث تؤدى العملية إلى ذوبان المواد اللاحمة cementing materials فى الصخور الرسوبية، فيؤدى ذلك إلى تفككها وتجويتها . ومن أكثر أمثلة الصخور شيوعا للتأثر بهذا النوع من التجوية هى الأحجار الجيرية . ويمثل التمفصل jointng الذى يوجد بكثرة فى الأحجار الجيرية نقط ضعف فى الصخور مما يساعد على ذوبانها. وتعد المغارات، والحفر القدورية، والصواعد والهوابط stalactites and stalagmites أمثلة واضحة لهذا النوع من التجوية الكيميائية، ويمكن مشاهدتها فى أماكن عديدة من بريطانيا مثل ووكى هول Wookey Hole وخانق شيدار Cheddar Gorge، وسمرست Somerset وكاسلتون Castleton ودربى شاير Derbyshire، ومالهام Malham، ويوركشير Yorkshire (شكل ٨٣) ويصاحب هذا النوع من التجوية فعل الأنهار الهدمى الذى سوف نتناوله بالدراسة فى الفصل السابع من هذا الكتاب.

٢- معدلات التجوية Rates of Weathering

تعمل قوى التحات بصفة عامة، على إزالة الوشاح الصخرى، أو الطبقة الوشاحية للصخور المفككة التى توجد أعلى طبقة الأساس الصخرى . وتتدهور طبقة الأساس الصخرى الموجودة تحت الوشاح نتيجة لتعرضها لعوامل التجوية المتعددة والمتكررة. ويتوقف معدل تجوية الصخور على هذه العوامل إلى حد كبير، حيث إن تركيب الصخر والظروف الفيزيقية السائدة، كذلك الظروف المناخية وطوبوغرافيا المنطقة والملامح الفيزيقية والبنيات الموجودة، كلها تؤثر بشكل كبير على معدلات التجوية.

• تركيب الصخر Composition of the Rock

يعد التركيب الكيميائى والمعدنى للصخر، عاملا مهما فى تحديد مدى تأثر الصخر بعمليات التجوية، وبصفة عامة فإن الصخور النارية هى صخور مقاومة لعمليات التجوية الفيزيقية، لكنها تتأثر بالتجوية الكيميائية بدرجة أكبر.

والحجر الجيرى وكثير من الصخور الرسوبية الأخرى مثل الدولوميت، تتأثر كثيرا بالتجوية الكيميائية وبخاصة عمليات الكربنة

carbonation والذوبان solution. وتعد طبيعة المادة اللاحمة التى تربط حبيات الصخر بعضها ببعض عاملا مهما فى هذا الأمر؛ فمثلا الحجر الرملى السليسى silicious sandstone الذى ترتبط حبيباته بمادة السليكا، يكون أكثر مقاومة لعمليات التجوية من الحجر الرملى الجيرى الذى تلتحم حبياته بمادة الكالسيت.

أما الصخور المتحولة وبخاصة صخر الكوارتزيت quartzite، فتعد من أشد الصخور مقاومة لمثل هذه العمليات.

• الأحوال الفيزيقية للصخر Physical Conditions of the Rock

تساعد الشقوق والفجوات والفراغات الموجودة فى الصخور على تسهيل وإتمام عمليات التجوية. كما أنها تساهم فى التعجيل بتفكك الصخور وتحطمها. ويلاحظ أن سطوح الصخور الصلبة غير المتشققة تقاوم عمليات التجوية بدرجة كبيرة.

• الظروف المناخية Climatic Conditions

تتم عمليات التجويةوبخاصة الكيميائية منها، بسرعة أكبر فى المناطق التى تتميز بمناخ دافئ رطب، حيث تساعد كثرة الأمطار المتساقطة على ذلك. أما فى المناطق الجافة الدافئة فإن التجوية الفيزيقية تكون لها السيادة، وتستمر فى عملها ببطء بالنسبة للتجوية الكيميائية. وينطبق الشيء نفسه على المناطق الشديدة البرودة.

• الطوبوغرافيا Topography

تتم عمليات التجوية بسرعة كبيرة فى المناطق التى تنحدر بشدة، حيث يتكون ركام السفوح والحطام الصخرى، الذى يتنقل من أماكنه بسرعة بسبب الانحدار، وهذا يؤدى إلى تعرض سطوح جديدة أخرى لعمليات التجوية. ومع زيادة الارتفاع تزداد كمية الأمطار وتنخفض درجات الحرارة، وهذا يساعد كثيرا على زيادة معدل عمليات التجوية.

• البنيات التركيبية Structures

فى أغلب الأحيان ، تؤدى عمليات التعرية إلى إزالة حنيرة (طية محدبة) بينما تبقى القعيرة (الطية المقعرة) فى مكانها كمعلم واضح. ومن المعلوم أن صخور

القمة فى الخنائر تحدث فيها عمليات شد، ومن ثم تكون أكثر عرضة لعوامل التجوية، بينما العكس هو الصحيح فى حالة القعائر.

ويمكن مشاهدة أمثلة من الطوبوغرافيا المقلوبة inverted topography فى مناطق «ويلد» Weald وكذلك فى «دفلزكيتشن» Devils Kitchen فى سنودونيا Snowdonia بالجزر البريطانية وهذه أنواع من التحات التمايزى differntial erosion الذى سوف نتناوله بالدراسة فيما بعد.

٤- تأثيرات التجوية Effects of Weathering

حينما يتأثر الأساس الصخرى بعمليات التجوية الكيميائية والفيزيقية، فإن تغيرات خاصة تحدث، ونذكر منها:

أ- التجوية التمايزية Differntial Weathering

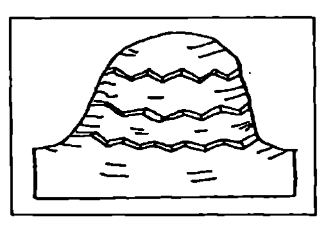
توجد أجزاء معينة فى الصخور المتكشفة، تكون أكثر استجابة لعمليات التجوية بدرجات متفاوتة، بحيث تكون هناك أجزاء من الصخر شديدة المقاومة فتظل ثابتة فى مكانها، بينما الأجزاء الأقل صلابة ومقاومة تستجيب بسهولة لعمليات التجوية وتتأثر بها ولذلك تظل من أماكنها.

هذا النوع من التجوية يسمى التجوية التمايزية differential weathring، وتحدث نتيجة للتباين فى التركيب المعدنى والبنيات التركيبية واختلاف المواد اللاحمة فى الصخور المختلفة، كذلك وجود الدرنات الصخرية concretions (انظر الفصل الرابع). وهناك كثير من المناظر الطبيعية الخلابة التى تكونت بفعل التجوية التمايزية.

ب- التقشر Exfoliation

تحدث عملية التقشر فى الصخور عندما تتفلق شرائح أو رقائق متموجة من أسطح هذه الصخور (شكل ٥٤) وتتباين الآراء حول السبب الحقيقى للتقشر، لكنه يبدو أن السبب قد يكون هو تبادل تسخين الصخر وتبريده بسبب الاختلافات فى درجة الحرارة بين النهار والليل. ونتيجة لتقشر الصخر، فإن كتلا منه تنفصل تاركة كتلا صخرية مكوّرة تعرف باسم قباب التقشر exfoliation domes. وتوجد

مثل هذه القباب فى أماكن مختلفة من العالم، مثل أفريقيا وأميركا الشمالية وأميركا الجنوبية.



شكل (٥٤)
قبة جرانيتية تكونت نتيجة للتقشر

جـ- التجوية الكروانية Spheroidal Weathering

قد تستمر عملية التقشر تحت ظروف معينة، حتى إنها تؤثر فى الجلاميد وتقلل من حجومها لتصبح أجساما كروية الشكل تقريبا (شكل ٥٥) وتنتشر ظاهرة التجوية الكروانية فى الصخور النارية الدقيقة التحبب، كذلك قد تحدث فى تكاوين الطفلة الكتلية.

د- ركام السفوح Talus or Screes

ركام السفوح هو الحطام الصخرى الذى نتج عن تجوية الصخور وتراكمه على سفوح الجبال والجروف والمنحدرات (شكل ٥٦) وفى بعض الأحيان قد يصل

شكل (٥٥)
جلمود تظهر فيه عملية التجوية الكروانية



شكل (٥٦)
ركام السفوح المتكون من تجوية الحطام الصخرى

سمك ركام السفوح المسمى صخور المنحدرات إلى مئات الأقدام. وعموما فإن ركام السفوح يتكون نتيجة لفعل الصقيع frost أو بفعل بعض عوامل التجوية الفيزيقية الأخرى وينحدر إلى أسفل المنحدرات بفعل عوامل الجاذبية.

٥- التربة Soil

هى الناتج الرئيسى من عمليات التجوية، وتتكون من صخور الوشاح المفككة والمحطمة والتى طرأت عليها تغيرات كثيرة جعلتها صالحة لنمو النباتات. وتحتوى معظم أنواع التربة على كميات معينة من الدبال humus؛ وهو مواد عضوية دكناء تنتج عن عملية تحلل المواد النباتية والحيوانية.

وهناك عناصر تتحكم فى تكوين التربة وكذلك فى نوعها فى المناطق المختلفة، وهذه العناصر هى:

أ- تركيب الصخر الأصلى.

ب- المناخ

جـ- الطوبوغرافيا .

د- عامل الزمن .

هـ- أنشطة النباتات والحيوانات.

وعند تصنيف التربة إلى أنواع، فإن هذه العناصر تؤخذ دائما فى الاعتبار، كما سنتعرض له فيما بعد:

وتتكون التربة من أجزاء هى: **التربة العلوية topsoil** وتتمثل بالستة أو بالثمان بوصات التى تعلو ما يعرف باسم تحت التربة subsoil وهى أكثر دموجا وأقل خصوبة وأخف من التربة العلوية. وقد تكون التربة متبقية residual، وهى التى يكون مصدرها الصخور التى تحتها، أو تكون التربة منقولة، وهذه هى التى نقلت من مكان آخر بعيد، بفعل عوامل نقل مثل الرياح أو المياه أو الجاذبية أو الثالج؛ وتتميز التربة المنقولة بأنها تحتوى على صخور تختلف تماما عما يوجد تحتها من الأساس الصخرى.

• جانبية التربة Soil Profile

يتميز كـل نوع من أنواع التربة المختلفة بجانبية profile تميزه عن غيره. وتوجد لـكل نمط من التربة ثلاثة نطاقات، كل نطاق منها يختلف عن الآخر الذى يعلوه أو يسفله ·وعلى أساس طبيعة هذه النطاقات فى التربة الناضجة أو المتطورة تصنف التربة إلى أنواع، نذكرها فيما يلى:

- النطاق أ A- Horizon

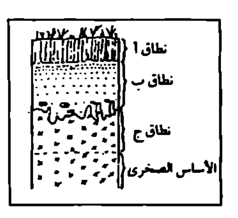
وهو أعلى نطاق فى جانبية التربة ويوجد عند قمتها، ويتكون أساسا من كميات مختلفة من الدبال وقد حدثت له عملية ترشيح وتصفية leaching فى أثناء تكونه.

- النطاق ب B-Horizon

ويوجد أسفل النطاق أ، ويسمى «تحت التربة»، ويحتوى فى المناطق المناخية الرطبة على كميات جمّة من الصلصال وأكاسيد الحديد، وعلى كميات قليلة من المواد العضوية.

- النطاق جـ C- Horizon

يتكون أساسا من الصخور الأصلية التى طرأ عليها تغير طفيف والتى تتدرج فى تركيبها إلى أسفل حتى تماثل صخر الأساس bedrock (شكل ٥٧).



شكل (٥٧)

جانبية التربة توضح نطاقات التربة المختلفة

٦-تصنيف التربة Classification of Soil

تصنف التربة إلى أنواع حسب الظروف المناخية السائدة التى تتكون فيها، وكذلك النباتات التى تصاحب هذه التربة.

• البودسول Podsol

وهو نوع التربة العادى أو الشائع فى بريطانيا، ويمكن مشاهدته بوضوح فى أجزاء من سرى Surrey وفى هذا النوع يكون النطاق أ غنيا فى محتوى الدبال ثم يليه الطبقة المرشحة أو المصفاة leached، ثم النطاق ب B- horizon الذى يكون عادة ملونا بأكاسيد الحديد تكسب هذا النطاق ألوانا بديعة، وإلى أسفل توجد طبقة الأساس الصخرى، والنطاق جـ الذى يكون مجوى جزئيا.

• الأديم البنى Brown Earth

يوجد هذا النوع من التربة فى مناطق الغابات التى تتكون فيها طبقات سميكة من الدبال وتكون عمليات التصفية leaching محدودة. ويشيع وجود هذا النوع من التربة فى المناطق الجنوبية والشرقية من إنجلترا.

• رندزناس Rendzinas

ويوجد فى مناطق الحجر الجيرى والطباشير، ويتكون من طبقة رقيقة من التربة، غالبا ما تكون حمضية وترتكز على الطباشير. وتتميز هذه التربة بوجود نوع مميز من الحشائش القصيرة.

• تربة غير ناضجة Immature Soil

وهذه توجد فى المرتفعات البريطانية، وتمثل معظم التربة التى كانت موجودة قبل عصر الجليد والتى أزيلت بواسطة المثالج، ومنذ ذلك الوقت لم يمر عليها الوقت الكافى لتحول إلى تربة ذات جانبية كاملة.

• البدالفرز Pedalfers والبيدوكال Pedocals واللاتيريت Laterites

توجد هذه الأنواع فى أماكن كثيرة من العالم. وتتميز تربة البدالفرز بكثافة نباتية عالية وهى تميز المناخ الرطب المعتدل. أما البيدوكال فتتميز بمحتوى عال من كربونات الكالسيوم، وتوجد فى المناطق الخفيفة الأمطار ودرجات الحرارة العالية وتتميز بوجود الأعشاب والشجيرات. وتوجد تربة اللاتيريت فى المناطق الاستوائية الرطبة، وتتميز بالأدغال النباتية Jungle Vegetation.

الفصل السابع

العوامل الچيولوچية: المياه

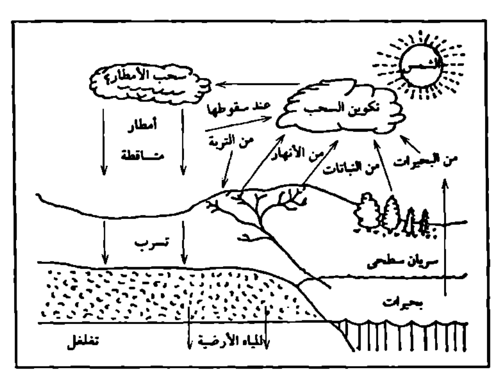
GEOLOGIC AGENTS: WATER

تعد المياه الجارية بلا شك أهم عامل من عوامل التحات. ومن المحتمل أنها تعمل على تحات الأرض أكثر من الذى تعمله عوامل التحات الأخرى مجتمعة. وتعمل الأنهار بصفة مستمرة على تغير ملامح سطح الأرض وصياغة المعالم البرية الكبرى وتشكل الشكل المألوف لنا جميعا.

وتقدر كمية المياه المتساقطة على الكرة الأرضية فى كل عام بحوالى ٤٠٠٠٠ مليون طن من الماء. وبالرغم من أن معدل التساقط السنوى للمطر يختلف كثيرا من منطقة إلى أخرى، إلا أن معدل التساقط السنوى على الأرض قدّر بأربعين بوصة. ومن هذه الكمية يصبح حوالى ٢٢٪ إلى ٣٠٪ مياها جارية (وذلك هو الماء الذى يجرى على الأرض). ومعظم الأنهار السطحية تكونت من هذا الماء الجارى.

١- الدورة الهدرولوچية The Hydrologic Cycle

حتى نتفهم بالتفصيل أصل مياه الأنهار وتوزيعها النهائى، ستساعدنا كثيرا فى هذا الصدد بعض المعلومات عن الدورة الهدرولوچية. وهى دورة مستمرة، حيث يتبخر فيها الماء من البحار ويُحمل إلى الأرض حيث يتساقط أمطارا وثلوجا. وفى آخر الأمر، يعود مرة أخرى إلى البحر (انظر شكل ٥٨). ومعظم المياه الموجودة على سطح الأرض مصدرها من الغلاف الجوى كأمطار أو ثلوج. وفيما عدا النسبة المعينة ٢٢٪ - ٣٠٪ التى تحمل مرة أخرى إلى البحر كمياه جارية، فإن كثيرا من الماء يتسرب إلى باطن الأرض ويتغلغل عن طريق عملية الرشح ليصبح ماء أرضيا ground water ويعود الماء مرة أخرى إلى الغلاف الجوى نتيجة لعملية التبخر والتنفس (نتح النبات وإخراجه لبخار الماء).



شكل (٥٨)
الدورة الهيدرولوجية

وبالإضافة إلى الماء الذى يكون مصيره الجريان. أو الرشح أو التبخر، فإن بعض الماء يبقى على سطح الأرض لفترات طويلة على هيئة مثالج (انظر المثالج فى الفصل الثامن).

٢- نماذج الصرف وأنماط الأنهار Drainage Patterns and River Types

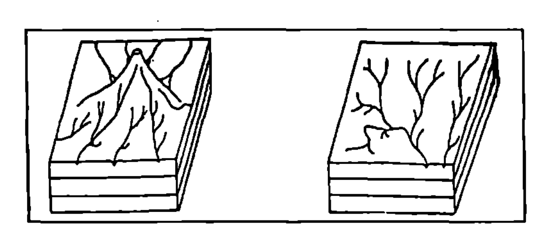
توجد أنماط عديدة من الأنهار تتردد فى الحجم من الأنهار الكبيرة، الطينية، والبطيئة كالمسيسبى إلى الأنهار الصغيرة الرائقة والنهيرات المتدفقة من الجبال. والأنهار التى تجرى فقط خلال موسم الأمطار (أو خلال المواسم المطيرة) تسمى «المجارى المتقطعة intermittent streams». أما الأنهار الدائمة السريان فهى تلك التى نحرت واديها حتى اتصل بمنسوب الماء الأرضى ولذلك تسمى الأنهار الدائمة permanent streams.

• نماذج الصرف Drainage Patterns

الحقيقتان المهمتان اللتان تحددان المسار الذى يسلكه النهر هما:

انحدار الأرض وطبيعة الصخور التى تسفل النهر. ومع اتخاذ الأنهار طرقها إلى البحر، فإنها وروافدها تشكلان نماذج مميزة. وتساعد دراسة نماذج صرف الأنهار الجيولوجيين على تفسير وتفهم بنيات الصخور السفلية وكذلك التاريخ الجيولوجى للمنطقة.

ونظرا لأن روافد أى نهر تدخل إلى مساره الأصلى، فهى تشبه أفرع الشجرة ولذلك يقال عنها شجيرية dendritic وهذا ينطبق على معظم نماذج الصرف (شكل ٥٩). وهذا النموذج الشجيرى يميز المناطق التى توجد تحتها صخور رسوبية مسطحة أو صخور نارية كتلية أو صخور متحولة. ويتكون النمط الشعاعى radial pattern حينما تتشعع مجارى الصرف فى كل الاتجاهات من منطقة مركزية مثل قمة جبل مثلا (شكل ٦٠). وحينما تتصل الروافد بنهر كبير وتتعامد عليه فيسمى النموذج بالتعريشة (نمط شبكى) trellis (شكل ٦١).

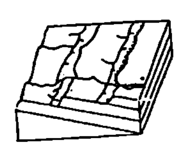


شكل (٦٠)
نمط صرف شعاعى

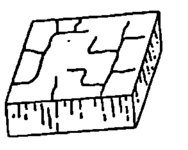
شكل (٥٩)
نمط صرف شجيرى

وهذا النموذج يُمثَّل بوضوح فى المناطق التى تميز صخورها بطبقات مائلة ومكاشف ذات درجات مقاومة مختلفة. ففى مثل هذه المناطق تتكون الوديان على طول مكاشف الصخور الضعيفة، بينما تقف الطبقات الأكثر مقاومة على هيئة مقاسم مياه divides.

وهناك نموذج الصرف المستطيل rectangular pattern (شكل ٦٢) الذى يتكون فى المناطق التى تكون فيها طبقات الأساس الصخرى السفلية مشققة بدرجة كبيرة، ويتشابه هذا النموذج مع نموذج التعريشة trellis (قارن بين شكلى ٦١ و ٦٢).



شكل (٦١)
نمط صرف يشبه التعريشة



شكل (٦٢)
نمط صرف مستطيل

• أنماط النهر River Types

يصنف النهر على أساس العلاقة بين مجراه والصخور التى توجد فى أسفل المجرى، فالنهر الانحدارى consequent هو الذى يتبع اتجاه جريانه الانحدار الأصلى للأرض. ويتكون هذا النمط من الأنهار فى المناطق ذات التضاريس المنخفضة مثل الوديان الساحلية. والنهر اللاحق subsequent هو النهر الذى تغير اتجاه جريانه نتيجة لعملية الطى أو التشقق أو بسبب الاختلافات فى صلابة الصخور التى تفله. وعادة تتبع روافد هذا النوع من الأنهار طبقات الصخور الرخوة soft rocks مثل الطفلة. ومن ناحية أخرى فإن النهر السالف antecedent هو الذى يتبع مجراه الأصلى بالرغم من حدوث أية عمليات رفع تنشط على طول مجراه (الأنهار اللاحقة subsequent ترى عادة كروافد للأنهار السالفة antecedent فى نموذج التعريشة trellis فى نماذج الصرف - انظر شكل ٦١).

والأنهار الراكبة superimposed هى تلك الأنهار التى نحتت مجاريها فى الصخور الرخوة التى تعلو الطبقات التى نشأت منها، ثم وضعت نفسها فوق الصخور الأقدم منها التى توجد أسفلها. ويكون للصخور التى توجد أسفل الأنهار الراكبة تركيب مختلف وكذلك بنيات مختلفة عن تلك الصخور التى ظهر فيها المجرى الأصلى.

٣- عمل الأنهار The Work of Rivers

على وجه العموم، يظهر عمل المياه الجارية ويبدأ مع الأمطار، فكثير من هذا العمل يبدأ مع الجريان. وقد تبدأ المياه عملها كما كانت صفحة من الماء sheet of water، لكنها سرعان ما تتحول إلى نهر. وتزداد كمية الماء الجارى فى منطقة ما، نتيجة لعوامل عدة منها:

أ- الانحدار الشديد.

ب- درجة النفاذية الضعيفة للمواد الصخرية السطحية.

جـ- غياب النباتات.

د- شدة الأمطار واستمراريتها وما إذا كانت الأمطار لفترة قصيرة أو كانت الأمطار غزيرة، أو خفيفة لكنها تمتد لفترة طويلة.

٤- نحات النهر River Erosion

يحدث نحات النهر بواسطة عمليات عديدة، يتعاون معظمها بعضه مع بعض وهناك عوامل مختلفة تشكل فى النهاية درجة ونوع النحات الذى سيحدث فى نهر ما، مثال ذلك:

- **السحج (البرى) Abrasion or Corrasion**

تعتمد قدرة النهر على السحج أو النحات الطبيعى على حمولة النهر (كمية المواد التى يحملها النهر فى وقت معين). فكل حبة رمل أو حصاة أو جلمود تعمل كأداة قاطعة وقادرة على تعميق وتوسيع مهد النهر، وتعرف هذه العملية أيضا باسم النحات الميكانيكى للنهر. وتحدث عملية السحج حينما تحتك جسيمات الصخر بعضها ببعض أو تحتك بالطبقات الصخرية للمجرى عندما تحملها مياه النهر. وبالإضافة إلى ذلك، فقد يحدث حت أكثر وطأة عندما تصطدم الكسر الصخرية بالأساس الصخرى أو ببعضها البعض.

ويكون للسحج تأثير ملموس إذا كانت الأنهار تجرى بسرعة كبيرة، وحمولة النهر ثقيلة، ويتحرك كثير من الحطام الصخرى حركة دوارة على قاع المجرى. ويمكن مشاهدة التأثيرات التى يحدثها هذا النوع من النحات فى الجلاميد أو الحصى الأملس التام الاستدارة، وكذلك فى ضفات الأنهار المقوضة من أسفل undercut على طول جوانب الأنهار.

- **التآكل أو الذوبان Corrosion or Solution**

للمياه الجارية أثر تآكلى أو إذابى للصخور التى تنساب فوقها ويحدث هذا النوع من النحات النهرى فى المياه التى تحتوى على حمض الكربونيك (يتكون بفعل

النباتات والهـواء) الذى يذيب المعادن الموجودة فى طبـقات قاع النهر، ومن أشـهر هذه الصخور القابلة للذوبان نسبيـا، الحجر الجيرى والجبس والدولوميت وهى التى تتأثر إلى حد ما بالتأثير الإذابى لمياه النهر.

• **الفعل الهدروليكى الاقتلاعى Hydraulic Plucking or Quarrying**

حينمـا تكون طبقـات قاع المجرى متشقـقة بدرجة كـبيـرة أو تكون درجة التحامـها ضعيفة، فـإن الفعل الاقتلاعى للنهر يكـون مؤثرا فى مثل هذه المناطق، وحينما تكون التيارات المائية قـوية، فإنها قد تدفع الماء فى مناطق الكسر على طول مـجرى النهـر، وبالتـالى يمكن أن تزال المواد الصـخرية من جوانب المجـرى أو الطبقات الصخرية لقاع النهر.

• **البِلَى الاحتكاكى Attrition**

تحتك الجـلاميـد والكـسر الصـخرية بعضـها مع بعض ومع جـوانب النهر وتُحمل وتُدار فى مياه النهـر وتتفتت وتقل أحجامها، وعندئذ فإن الكسـر الصغيرة الناتجة عن هذه العملية تحمل بعيدا وتنقل بسـهولة كبيرة إلى أماكن أخرى.

٥- معدل النحات Rate Of Erosion

يعتمد معدل النحات الناتج عن المياه الجارية على العوامل الآتية:

• **حجم المجرى Stream Size**

كلما زاد حـجم الماء فى المجرى، ازدادت قـدرته على حمل حـمولة أكـبر وبالتالى ازدادت قدرة النهر على النحات، وعـلى هذا فإن النحات يبلغ مداه عندما تكـون الأنهار فى وقت الفيضان، وتحمل معها كمية كبيرة من المواد.

• **المعال والسرعة Gradient and Velocity**

يقصد بالمعـال الانحدار الذى يـسلكه النهر لأسفل ويكون معال النهر مـرتفعا عند المنبع وينخـفض نسـبيا عنـد فم النهر (المصـب). وتزداد سرعـة جريان الماء فى المجرى، إذا كان المجرى مستقيما وبه كمية كـبيرة من المياه وضيقًا وخاليا نسـبيا من العوائق.

• طبيعة الحمولة Nature of the Load

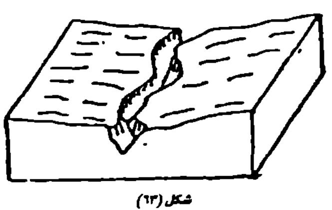
الأنهار التي تتبع طبقاتها مجرى ضيقا ومستقيما تنحات بشدة، إذا قورنت بالأنهار ذات المنعطفات النهرية meanders. والأنهار التي توجد فيها عوائق كثيرة مثل النباتات والجلاميد وغيرها من العوائق تقل سرعتها وكذلك قدرتها على الحمل.

٦- العمل التحاتي للنهر Effect of River Erosion

يعد عمل النهر التحاتي هو المسئول عن ظواهر جيولوجية عديدة ومهمة؛ من بين هذه الظواهر الأخاديد الطبيعية، والوديان المقطوعة، ومساقط المياه، والمسارع، والأسر النهري، والمنعطفات النهرية، والبحيرات القوسية.

• وديان الأخاديد النهرية والأخاديد الطبيعية Stream- Cut Valleys and Gullies

تتحرك المياه الجارية فوق سطح الأرض وتقطع منخفضا أو مجرى يصبح في النهاية واديا. وتبدأ معظم الوديان بأخاديد نهرية تزداد عرضا عمقا وطولا مع كل مطر. ويزداد طول الأخدود بالتحات العكسي headward «في عكس اتجاه جريان الماء» عند النقطة التي ينصب فيها الماء في الجزء الأعلى من النهر. وعندما تستمر عمليات التحات تتكون الوديان السبعاوية V-shaped valleys والتي تزداد عمقا بتحات طبقات قاع النهر وتزداد عرضا بتحات الضفاف. (شكل ٦٣) وقد يستمر التحات حتى يصل المجرى إلى المستوى القاعدي base-level، وهو المستوى الذي ينعدم عنده المال ويتوقف الجريان.



شكل (٦٣)
وادٍ سبعاوي تكوّن من التحات النهري

ويعتمد تقدم الوادى فى تطوره على:

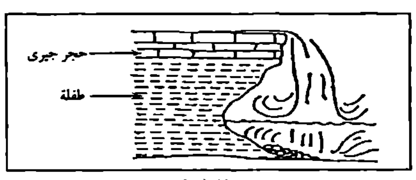
أ- حجم المياه المتدفقة.　　　ب- سرعة المياه .

جـ- طبيعة الحمولة النهرية.　　　د- درجة مقاومة صخور قاع المجرى .

وفى بعض الأحيان تتعمق بعض الوديان بسرعة أكبر من سرعة اتساع عرضها. وتسمى مثل هذه الوديان المَسيل أو الخانق أو الأخدود.

• المسارع ومساقط المياه Rapids and Waterfalls

حينما تحدث زيادة مفاجئة فى ممال النهر، فإن حركة الماء تزداد سرعتها وبذلك تتكون المسارع rapids. وتتكون مساقط المياه (شكل ٦٤) حينما يحدث هبوط رأسى أو شبه رأسى مفاجئ فى مهد النهر. وهناك أمثلة عديدة من مساقط المياه مثل مساقط نياجرا بأميركا الشمالية، حيث يمر النهر من صخور صلبة إلى صخور رخوة نسبيا، ويمر النهر فوق جرف تعلوه صخور الحجر الجيرى الصلبة وتسقط المياه على مواد صخرية أقل صلابة. والقوة المتابعة للمياه المتلاطمة التى تسقط عند قاعدة الجرف تنحر فى صخور الطفلة التى توجد فى قاع الجرف فتقوض الحجر الجيرى وتؤدى إلى تحطمه. ويتكرر هذا فيدفع بعملية النحر والتقويض نحو عالية النهر. وتبدو مساقط المياه فى نياجرا نتيجة لذلك، كذلك فإنها تتقهقر بمعدل أربعة إلى خمسة أقدام فى العام. وأكبر مساقط المياه فى إنجلترا هى هادروفورس Hadrow Force فى ونسليدال Wensleydale (يوركشير)، وهى من نوع مساقط نياجرا. وقد رجعت القهقرى خلال خانق بطول ربع ميل فى تتابع



شكل (٦٤)

مقطع مستعرض لمسقط مياه

(لاحظ صخور الحجر الجيرى الصلبة التى تعلو المسقط)

من طبقات يوريدال Yoredale . وخلف مساقط المياه هناك يمكن مشاهدة طبقات الطفلة الرخوة وقد بليت وقوضت الصخور الأكثر صلابة التى تعلوها . وقد تكون بعض مساقط المياه عندما تعبر الأنهار فوق متدخلات نارية، غالبا ما تكون أكثر صلابة، وبالتالى تكون أكثر مقاومة من صخر المنطقة. وهناك مساقط مياه تسبب فى تكونها جدة قاطعة باسم وين سيل فى إنجلترا Whin Sill كذلك فإن مساقط مياه فيكتوريا فى روديسيا تندفع فوق هضبة كبيرة تتكون من البازلت لتسقط لمسافة ٤٠٠ قدم فى قاع الخانق.

وهناك مساقط مياه أخرى مثل الموجودة فى المتنزه القومى يوسميت Yosemite National Park، وهى المثال الكلاسيكى لمساقط المياه وقد تكونت هذه المساقط عند دخول الوديان المعلقة إلى الوادى الرئيسى (انظر الفصل الثامن) . ويعرف زوار سويسرا أحسن مثال للمساقط المائية فى أوربا، والذى يوجد بين إنترلاكن Interlaken وجنجفراو Jungfrau. وهناك أمثلة أخرى توجد فى بريطانيا فى المناطق الثلجية فى سنودونيا Snowdonia ومنطقة البحيرات Lake District وغرب اسكتلندا . وتمثل المسارع والجنادل والشلالات بقايا مساقط المياه القديمة، التى تقهقرت وأصبحت أقل ارتفاعا مع مرور الزمن.

• الحفر القدرية Pot - Holes

تتكون الدوامات المائية فى مياه الأنهار السريعة فتدفع التيارات الدوامية الماء وما به من حمولة من الرمال والجرول فى حركة دورانية rotary فتدور القطع الصخرية المحمولة فى حركة طاحنة تحفر فى قاع النهر حفرا دائرية ضحلة تسمى الحفر القدرية، يتردد قطر الواحدة منها من بوصات عديدة إلى أكثر من ٢٠ قدما.

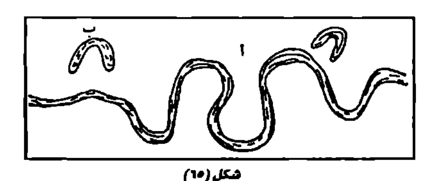
• القرصنة النهرية (الأسر النهرى) River Capture

فى بعض الأحيان قد يكون النهر جادا فى عملية النحات النهرى فى اتجاه المنبع، فيتقاطع معه نهر آخر ويضمه إلى مجراه. وتسمى هذه الظاهرة باسم الأسر النهرى، وتنشأ نتيجة للتباين فى معدل النحات النهرى للنهرين. ويذكر أن نهر أوس Ouse فى يوركشير أوقع فى أسره العديد من الأنهار. وتعد ظاهرة القرصنة النهرية من ملامح أنماط الصرف فى منطقة ويلد بإنجلترا Weald

وكمثال، فإن نهر رذر Rother الذى ينساب على طول طبقاتساندجيت Sandgate هو أسير لنهر أرون Arun ويدخل إلى البحر عند لتل هامبتون Littlehampton.

• المنعطفات النهرية والبحيرات الهلالية Meanders and Ox-bow Lakes

حينما يسمح عمال المجرى المائى بأن يكون هناك اتزان تقريبى بين كمية المواد التى يحتها النهر وكمية المواد التى يرسبها، فإن النهر يسمى فى هذه الحالة بالنهر المتدرج graded stream. مثل هذا النهر يستنفد معظم طاقته فى حمل حمولته أكثر من استخدامها فى القطع والنحر إلى أسفل، ومع ذلك فقد يحدث نحات جانبى lateral erosion أو نحر جانبى للصخور side cutting ويصبح قاع الوادى أكثر عرضا. ومع نمو الوادى، فإن مجرى النهر يحتل عادة جزءا صغيرا من أرضية الوادى. وهذا يسمح للنهر بأن يجعل مجراه ملتويا wandering ومنعطفا winding يتميز بوجود العديد من الالتواءات التى تشبه حرف (S) والتى تسمى بالمنعطفات النهرية meanders (شكل ٦٥ أ). وقد تنحنى بعض المنعطفات بشدة لدرجة أن يصبح الفاصل بين نهايات المنعطف جزءا ضيقا من الأرض يشبه الرقبة. وفى أثناء زمن الفيضان قد يخترق النهر هذه «الرقبة» وبالتالى يعزل المنعطف عن باقى النهر. وإذا بقى الماء فى الجزء المعزول من المجرى، سمى هذا الجزء بحيرة هلالية ox - bow lake (شكل ٦٥ ب). مثال جيد للأنهار الانعطافية يمكن مشاهدته بالقرب من نيوهيفن New haven، فى سسكس Sussex بإنجلترا، وكذلك فإن نهر الأردن Jordan يعد مثالا آخر للأنهار الانعطافية البطيئة الحركة.



شكل (٦٥)

المنعطفات النهرية والبحيرات الهلالية

(أ) منعطف نهرى.

(ب) بحيرة هلالية.

• الأنهار الجدولة Braided Streams

يتميز النهر المجدول بوجود سلسلة معقدة من الأفرع التى تتصل بعضها ببعض ثم تتفرق مرة أخرى وهكذا، وتمتلئ هذه الشبكة من الأفرع بالعديد من الحواجز الرملية sand bars، وهى تجمعات رملية ترسبت من حمولة النهر الزائدة.

٧- الأنهار عامل للنقل Transportational Work of Rivers

النهر مثل كل عوامل التحات، يحمل معظم حمولته من المواد التى تكسرت من القشرة الأرضية. وفى كل عام تتفتت كميات هائلة من الرواسب تقدر بألف مليون طن تحملها الأنهار لترسبها فى البحار. هذه الكُسارة الصخرية ستكوّن الصخور الرسوبية للتاريخ الجيولوجى الذى يلى ذلك الترسيب.

وتعتمد قدرة النهر على الحمل على سرعة وحجم الماء فى المجرى. ونظرا لأن أية زيادة فى حجم الماء تتبعها زيادة فى سرعته، لذلك نجد أن قوة النهر على الحمل ترتبط أكثر بسرعته وتغيرها. ومن ثم تكون للأنهار - سعة نهرية أكبر capacity (قدرتها على حمل أقصى كمية من الرواسب)، وكذلك تكون لها قدرة أكبر competency (القدرة على حمل الحجوم الكبيرة من الصخور)، فى فترات الفيضان. ويمكن مشاهدة الجلاميد الكبيرة والركام الصخرى فى أرضية نهر لين بإنجلترا River Lyn الذى ينساب بهدوء بين ووترزميت Watersmeet ولين موث Lynmouth، حيث تلقى هناك نتيجة لكوارث الفيضانات التى حدثت فى الماضى. وحمولة الأنهار قد تنقل حمولة عالقة أو حمولة ذائبة أو حمولة متدحرجة على طول قاع المجرى المائى.

• الحمولة الذائبة Dissolved Load

تحمل المواد الذائبة فى محاليل وهذا ما يسمى باسم الحمل غير المرئى invisible load، ويختلف طبقا لدرجة ذوبان صخور المجرى التى يجرى فيها النهر.

• الحمولة العالقة Suspended Load

معظـم المواد التى تنقلها الأنهـار تكون فى صورة عـالقة بين القـاع وسطح المجرى، ومن أمثلة الرواسب التى تمثل هذا النمط الرمال والغرين والصلصال.

• حمولة القاع Bed Load

تنقل كميات كبيرة من كسَر الصخور المفتة حمولة متدحرجة أو منزلقة على طبقات قاع النـهر. وقد تنقل الكـر الصخرية وتتـحرك وكأنها تثب نتيجـة لدفعها بقوة التيـار. وتنقل الكـر الصخرية بأية واحدة من الطرق التى ذكـرت ويقال إنها تحركت بفعل قوة السـحب traction وكوّنت حمولة الأرضـية أو القاع bed load.

٨- الترسيب Deposition

يرسب النهر حمولته التى يحملها عندمـا تقل سرعته وقدرته، بـسبب عوامل مثـل:

أ- نقص عمال المجرى.

ب- نقصان حجـم الماء.

جـ- نقصان سرعة الماء.

د- وجود عوائق فى مجرى النهر.

هـ- زيادة عرض وتوسيـع طبقـات المجـرى.

و- زيـادة الحمولـة النهريـة.

ز- التجمد.

ح- دخول المجرى فى وسـط مائى هادئ أو ذى سرعة أقل.

وتـسمى المواد المترسبة بالمواد الطمـية alluvium. وتحتوى المواد الطمـية على مواد فُرزَت على أسـاس حجمهـا، وعليه، فإنها تترسب علـى شكل طبقات، إذ ترسب المواد الأكثر غلـظا عند قاع الطبقة. وبالإضافة إلى ذلك فـإن المواد الطمية تتكون عادة من كـر صخرية استدارت وصارت ملـساء بفعل عملية السـحج النهرى river abrasion.

• المراوح النهرية والمخاريط الطمية Alluvial Fans and Alluvial Cones

المراوح النهـرية (التـلاع) هى رواسب مـروحيـة الشكل ذات درجـة مـيل متـوسطة توجد عند أقـدام الجبـال (البطاح)، وتتـميز بهـا المناطق شبه الـقاحلة.

وتتكون هذه التراكمات من الغرين والرمل والجرول والجلاميد التى ترسبت فى نهر جبلى سريع السريان نقص مماله بدخوله أرضا مستوية لينساب عند قدم الجبل. وتسمى الرواسب ذات درجة الميل الشديدة المخاريط الطمية alluvial cones ويتراكم الحطام الصخرى الذى جلبته الجاذبية على منحدرات المخاريط الطمية ليستقر على المنحدرات بزاوية ٤٠ تقريبا. بينما يستقر الحطام الصخرى على منحدرات التلاع بزوايا أقل.

ويوجد فى بعض المناطق فى غرب الولايات المتحدة عدد من التلاع (المراوح النهرية) يتصل بعضها ببعض عند بطاح السلسلة الجبلية لتكون ما يسمى بطاح الوديان الطمية plains piedmont alluvial.

• الدلتات Deltas

حينما يدخل النهر فى جسم مائى كبير مثل بحر أو بحيرة، فإن سرعته تقل بشكل فجائى، فيرسب كثيرا من حمولته؛ وتسمى الرواسب التى تتوضع تحت هذه الظروف باسم الدلتا. ودلتا نهر الميسيسبى والتى تغطى مساحة تقدر بحوالى ١٢ ألف ميل مربع وكذلك دلتا النيل التى تغطى ١٠ آلاف ميل مربع، هى مناطق خصبة لما تحتويه من رواسب طمية، ولذلك فهى من المناطق المزروعة بكثافة كبيرة.

وحينما تكبر الدلتا وتتسع، فإن النهر الرئيسى ينساب فوقها ليكون أفرع جديدة له distributaries. ولا توجد الدلتات فى بريطانيا بكثرة، لكنه يمكن مشاهدتها حينما ينساب نهر فى بحيرة كما فى مناطق البحيراتlake district. وفى الماضى لعبت الدلتات دورا مهما فى تشكيل البنيات والتاريخ الجيولوجى فى بريطانيا. كما فى وصلة رواسب الدور الديفونى البحرية مع الحجر الرملى الأحمر القديم Old Red Sandstone فى جنوب غرب بريطانيا. ولا تزال الدلتات الشائعة توجد فى أجزاء أخرى من دول الكومنولث مثل الهند وباكستان ونيجيريا.

• سهول الفيضان Flood Plains

تسمى أيضا سهول الأنهار أو مسطحات الوديان، وتتكون عندما يطفح النهر فوق ضفتيه فى وقت الفيضان نظرا لزيادة حجم الماء فى المجرى. ويفقد النهر جزءاً

كبيرا من سرعته عندما يتعدى حدود مجراه ويرسب جزءًا كبيرا من حمولته على أرض الوادى. وكثير من الأنهار فى بريطانيا كونت سهولا فيضانية عند الامتدادات السفلية منها lower reaches.

• الشرفات النهرية River Terraces

حينما تؤثر عوامل التحات على بقايا السهول الفيضانية فإنها تكون ما يسمى بالشرفات النهرية وهذه الشرفات تكون أعلى طوبوغرافيا من السهول الفيضانية المحيطة بها. وهناك شرفات نهرية فوق السهول الفيضانية لنهر التيمز Thames عند مستويات واضحة تماما.

• الضفاف الطبيعية Natural Levees

حينما ينساب النهر فوق ضفتيه ويتعداهما حتى يغطى سهل الفيضان، فإنه يفقد أقصى كمية من حمولته على طول ضفاف المجرى وهنا ترسب الحمولة الأكثر غلظا فى حجوم حبيباتها، وتؤدى هذه العملية إلى تكوين حيد Ridge أو جسر embankment يسمى ضفة طبيعية natural levee وقد ترتفع الضفة الطبيعية ٢٠ قدما فوق مستوى السهل الفيضانى المحيط بها، فتكوّن سدا واقيا للأراضى المنخفضة خلال فصول الفيضان.

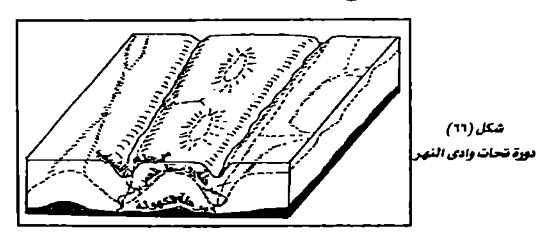
٩- دورات التحات Cycles of Erosion

يقول بعض الجيولوجيين إن التحات يحدث وفق دورة محددة، بالرغم من أنه يندر وجود مثال واحد يدل على دورة تحاتية متكاملة. وفى بعض الأحيان، قد تتوقف دورة التحات إذا حدثت عملية استعادة الشباب أو التصابى للأنهار Re-juvenation وتحدث هذه العملية عندما يصل مستوى التحات فى منطقة ما إلى المستوى القاعدى، ثم ترتفع المنطقة مرة أخرى ويزداد عمال النهر ويعجل عمليات التحات. وعلى وجه العموم فإن دورة التحات تبدأ بحت منطقة ما حتى تصل بها إلى المستوى القاعدى، ثم تتبعها عملية رفع جديدة، حينما يبدأ التحات من جديد.

وبالرغم من أن الجيولوجيين يختلفون على صحة هذا المفهوم إلا أنه، وبدون شك، قد زودنا بمعلومات كثيرة عن تطور كثير من الأصقاع. وفيما يلى مناقشة عن هذا المفهوم وكيف أمكن تطبيقه لمعرفة كيفية تكون وديان الأنهار والأشكال الإقليمية لمعالم سطح الأرض وتطورها.

١٠ - دورة تحات وادى النهر River- Valley Erosion Cycle

حينما ترفع القوى التكتونية منطقة ما فوق المستوى القاعدى، فإن النهر يواصل الحت ليصل بطبقة قاع الوادى إلى المستوى القاعدى مرة أخرى. ونتيجة لعملية التحات هذه تتكون السهوب peneplains وهى مناطق شاسعة ذات ارتفاعات وتضاريس منخفضة. وتظهر مثل هذه السهوب فى تحات حنيرة (طيَّة) ويلد Weald anticlinorium المركبة حيث يوجد على سبيل المثال تسوية واضحة بمقدار ٢٠٠ قدم فوق منسوب سطح البحر. ومثل هذا النوع من التحات يعرف باسم دورة تحات وادى النهر river - valley erosion cycle؛ وتحدث فى ثلاث مراحل محددة هى مراحل الشباب والنضوج والشيخوخة. ويوضح جدول رقم ٤ وشكل ٦٦ خصائص وملامح كل مرحلة فى دورة تحات وادى النهر.



شكل (٦٦)
دورة تحات وادى النهر

• مرحلة الشباب Youthful Stage

فى مرحلة الشباب، تكون الوديان عميقة وذات جوانب شديدة الانحدار ولها شكل سبعاوى V- shaped، ولا تتكون فى هذه المرحلة السهول الفيضانية. والأنهار التى تحتل أودية فى مرحلة الشباب لا تزال فوق المستوى القاعدى ولا تزال

نشيطة فى حتها للصخور المكونة لقيعانها. وهذه تسمى الأنهار الشابة youthful streams، وتتميز بأن لها مجارى مستقيمة تقريبا، كما تتميز بوجود المسارع ومساقط المياه وبوجود عدد قليل من الروافد نسبيا، وهذه الملامح توجد عادة بالقرب من منبع النهر.

- **مرحلة النضوج Mature Stage**

فى هذه المرحلة يعمق النهر من واديه وتقل درجة عماله، ولا توجد فيه مسارع أو مساقط مياه فى هذه المرحلة التى تتكون فيها أيضا المنعطفات النهرية. ويستدل على نضوج الوادى من الطبيعة المنبسطة لأرضيته ومن السهول الفيضانية الواضحة، ومن أحزمة المنعطفات النهرية العريضة (الواسعة) وما يصاحبها من بحيرات هلالية.

جدول رقم (٤)، دورة تحات وادى النهر

الجانبية المستعرضة	مرحلة الشباب	مرحلة النضوج	مرحلة الشيخوخة
المعال التحات	شديد وديان متعمقة	متوسط وديان متسعة ومتعمقة	بسيط - لطيف وديان متسعة
شكل المجرى	مستقيم	يبدأ فى الانعطاف	به منعطفات متسعة
قاع الوادى	توجد به سهول فيضانية صغيرة أو لا توجد	توجد سهول فيضانية واضحة	توجد سهول فيضانية متسعة
الروافد	عدد قليل وصغيرة الحجم	الحد الأقصى	قليلة العدد لكنها كبيرة الحجم
ملامح خاصة	وجود المسارع ومساقط المياه	وجود بعض البحيرات الهلالية	وجود الكثير من البحيرات الهلالية والضفاف الطبيعية وسهول الفيضانات المستنقعية

• مرحلة الشيخوخة Old- age Stage

تستمر عملية التحات فى هذه المرحلة لينتج عنها وديان متسعة جدا وضحلة وتتميز بسهول الفيضان ورواسبها الممتدة وكذلك بالعديد من البحيرات الهلالية. مثل هذه الوديان والأنهار المنشئة لها يقال إنها فى مرحلة الشيخوخة (old-age) وعادة ما تكون الأنهار التى بلغت مرحلة الشيخوخة بطيئة الحركة أو راكدة، ولها ممال بسيط، وتتميز مجاريها بالمنعطفات الكثيرة والبحيرات الهلالية والضفاف الطبيعية.

• انقطاع دورة وادى النهر Interruption of the River - Valley Cycle

ذكرنا سابقا أن دورة تكوّن الوادى قد تنقطع نتيجة لعملية التصابى، وحينما يحدث ذلك، فإن النهر يستمر فى عملية التحات إلى أسفل نتيجة لزيادة مماله، مما يؤدى إلى تكوين سلسلة من الشرفات السلّمية step- like terraces، كذلك قد تؤدى عملية استعادة الشباب (التصابى) إلى تكوين المنعطفات النهرية المخندقة entrenched، وهذه تتكون عندما يستمر النهر الانعطافى المرفوع uplifted meandering stream فى اتباع مساره الملتوى الأصلى ناحرا الصخور التى تحته بشدة.

١١- دورة التحات الإقليمية Regional Erosional Cycle

تتأثر الأراضى المرتفعة الموجودة بين الأنهار بدورات التحات. لكن دورة الوادى لن تتقدم على أى حال بنفس المعدل الذى تتقدم به دورة الأراضى المرتفعة. ولذلك فلابد من دراسة كل دورة على حدة. وتتميز الدورة الإقليمية بمراحل الشباب والنضوج والشيخوخة المعروفة (انظر جدول ٥).

• مرحلة الشباب Youthful Stage

تبدأ مرحلة الشباب بعملية رفع كتلة أرضية (مثل منطقة ساحلية مسطحة مرفوعة حديثا) ثم تلى ذلك فترة من الثبات النسبى. والمناطق الشابة تجرى بها أنهار شابة وتتميز بوديان على شكل V "V- shaped" عميقة وكذلك تتميز بمناطق عالية مقسمة جزئيا ذات تضاريس متوسطة.

• مرحلة النضوج Mature Stage

عند الوصول إلى مرحلة النضوج، تتميز المنطقة بأن الأرض العالية upland تصير مقسمة تماما وجيدة الصرف. بالإضافة إلى ذلك تصبح المنطقة ذات طوبوغرافية وعرة بصفة عامة، ويبلغ نمط الصرف أقصى درجة له وكذلك تبلغ التضاريس أقصى درجة لها. وعلى وجه العموم فإن وديان الأنهار river valleys هي من النوع الناضج.

• مرحلة الشيخوخة Old - Age Stage

مع تقدم عمليات التحات، تعبر المنطقة مرحلة النضوج إلى مرحلة الشيخوخة. وعند هذه المرحلة، تتكون السهوب من المناطق العالية والمنحدرات بعد أن أدى التحات إلى إزالتها، وتبلغ التضاريس أدنى درجة لها. ويتميز السطح عندئذ بعدد قليل من أنهار انعطافية كبيرة تجرى في وديان واسعة ومسطحة. ويكون للوادى الكهل أودية فيضانية ممتدة وضفاف طبيعية تامة النمو (جدول ٥). وتوجد في بعض المناطق تلال من صخور صلبة ومقاومة ترتفع فوق سطح السهب وتسمى هذه الآثار التحاتية المنعزلة بالمونادنوك monadnocks.

جدول رقم (٥): دورة تحات وادى النهر

الجانبية المستعرضة	مرحلة الشباب	مرحلة النضوج	مرحلة الشيخوخة
الطوبوغرافيا	أراضى عالية مسطحة	تلالية عادة في المنحدرات	أراضى منخفضة مسطحة
الصرف	ضعيف	جيد	ضعيف
التضاريس	متزايدة	بلغت أقصاها	في نقصان
ملامح خاصة	توجد البحيرات والمستنقعات في الأراضى العالية	توجد بحيرات هلالية قليلة العدد في المناطق المنخفضة	توجد البحيرات والمستنقعات في المناطق المنخفضة وكذلك المونادنوك

• انقطاع دورة التحات الإقليمية Interruption of the Regional Erosional Cycle

حينما يحدث تغير فى المستوى القاعدى لعملية التحات يقطع دورة الوادى، فإنه يقطع أيضا الدورة الإقليمية للتحات. وتنشأ عملية استعادة الشباب (التصابى) بسبب عملية تجدد الرفع renewed uplift؛ وبذلك تتعرض المنطقة المتأثرة لدورة جديدة من التحات. وبالنسبة لدورات التحات، هناك نقاط هامة لابد أن تؤخذ فى الاعتبار عند مناقشة هذا الموضوع فيما يلى:

أ- الدورات التحاتية التى ذكرت سابقا تصف ظواهر كما يجب أن تكون فى مناطق تتميز بمناخ رطب معتدل. أما فى المناخ القاحل أو القطبى فتكون ظواهر مختلفة، فمظاهر التحات فى المناطق القاحلة من أستراليا تختلف تماما عن المظاهر الموجودة فى بريطانيا. وفيما عدا أرضيات النهيرات الصغيرة الجافة فى أستراليا فلا توجد أنهار حقيقية ولا توجد بحيرات غير تلك المسماة «بحيرات مسطحات الملح» salt- flat lakes. وتبدو المنطقة مسطحة للناظر إليها من الجو، وبالرغم من أنها تتموج بلطف ما بين ٥٠٠ قدم وألف قدم فوق منسوب البحر.

ب- مصطلحات الشباب والنضوج والشيخوخة تطلق على الطوبوغرافيا العامة الإقليمية وعلى الوديان وكذلك على الأنهار التى تشغل هذه الوديان.

جـ- نادرا ما يمكن التمييز بوضوح بين المراحل المختلفة فى الدورة، لأن الانتقال من مرحلة إلى مرحلة أخرى يكون متدرجا، وعليه فإن منطقة ما، قد توجد فيها مظاهر تدل على مرحلتى النضوج والشيخوخة معا. أو مرحلتى الشباب والنضوج معا.

د- قد توجد أجزاء مختلفة من الوادى أو المنطقة فى مراحل مختلفة من الدورة فى الوقت نفسه. وعلى وجه العموم، فقد يتخذ النهر مظاهر الشباب بالقرب من منبعه، ويظهر أكثر نضوجا بالقرب من مصبه.

١٢- الماء الأرضى Ground Water

مياه الأمطار التى تسقط على الأرض، يجرى تصريفها بطرق ثلاث: إما أن تصبح مياها جارية run- off أو تتبخر وتعود إلى الغلاف الجوى أو ترشح فى الأرض infiltration. والقسم الأخير الذى ينز seeps فى الأرض يطلق عليه اسم المياه الأرضية ground water، ويسمى أيضا المياه تحت السطحية subsurface أو المياه الجوفية underground. وتوجد هذه المياه فى مسام pores وفجوات الصخور والتربة فى الجزء العلوى من القشرة الأرضية.

والمصدر الرئيسى لمعظم المياه التى توجد فى الأرض هو المطر أو الثلوج التى تشربت فى فراغات الصخور. وهذا هو أهم مصدر للمياه الأرضية. وتوجد نسبة ضئيلة نسبيا من المياه الأرضية مصدرها من تحت سطح الأرض، وتكون بطريقة كيميائية من الصخور النارية التى توجد مدفونة فى الأعماق. ويعرف هذا الماء باسم «الماء الصهارى magmatic water أو باسم «الماء البكر Juvenile» نظرا لأنه يظهر لأول مرة فى الدورة الهدرولوچية.

• الماء المحبوس (المتزامن) Connate Water

وهو الماء الذى حبس فى الصخور الرسوبية وقت تكوينها. ويوجد هذا النوع من الماء مرتبطا بالبترول فى آباره. ويكون الماء المحبوس ملحا تماما، وقد يكون بقايا لبحر قديم حبس فى الرسوبيات وقت تكوينها. ويكوّن الماء المحبوس نسبة بسيطة من المياه الأرضية، شأنه فى ذلك مثل الماء الصهارى. ويتغلغل الماء الأرضى إلى أسفل فى طبقات الأرض بفعل الجاذبية فيملأ الفجوات المتاحة من أسفل إلى أعلى. وهذا يكون ممكنا، لأن الصخور المسامية تمتص كميات كبيرة من الماء المترشح من السطح.

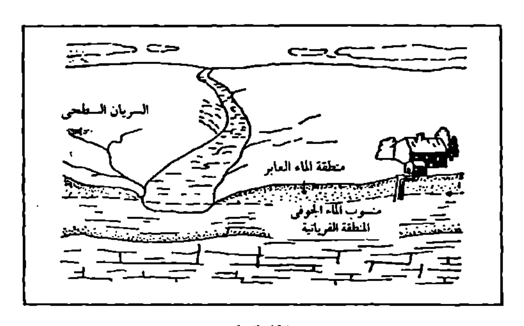
وإذا كانت الصخور منفذة permeable، فإنها تسمح للماء بأن يتحرك بحرِّية فيها وهذا يسهل المزيد من حركة الماء الأرضى. وتسمى الصخور المسامية والمنفذة فى آن واحد باسم المستودعات «الخزانات المائية aquifers».

وتختلف الصخور كثيرا فى درجة مساميتها porosity ونفاذيتها permeability. وبالنسبة للمسامية فهى تختلف من صخر لآخر فقد تكون

أقل من ١ ٪ فى الصخور الكتلية والصخور النارية غير المجواة، وتصل إلى ٣٠ ٪ أو أكثر فى أنواع معينة من الحجر الرملى. وقد تكون بعض الصخور غير مسامية أصلا، لكنها منفذة نتيجة للفجوات والشقوق الذوبانية وغيرها. وتسمى الصخور التى لا تسمح بإمرار الماء من خلالها باسم الصخور غير المنفذة impermeable (impervious).

١٢- منسوب الماء الأرضى Ground Water Table

جزء القشرة الأرضية الذى تكون فيه كل المسافات والفتحات المتاحة مملوءة بالماء يسمى منطقة التشبع zone of saturation أو المنطقة الفرياتية phreatic (شكل ٦٧) والحد العلوى لهذا النطاق يسمى منسوب الماء الأرضى ground water table.

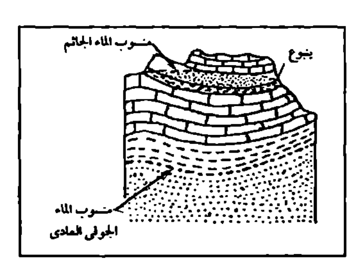


شكل (٦٧)

قطاع مستعرض يوضح علاقة منسوب الماء الجوفى بمناطق الماء العابر والماء الفرياتى

وتسمى الصخور وجزء التربة الذى تعبره المياه الأرضية فى طريقها لمنطقة التشبع باسم منطقة العبور vadose zone. أو منطقة التهوية aeration. وصخور منطقة العبور لا يمكن أن تكون مشبعة تماما بالماء، حيث تكون دائما مشبعة بالهواء وهذا الارتباط بين الماء والهواء يساعد كثيرا على عملية التحلل الكيميائى للصخور المحيطة.

ويختلف عمق منسوب المياه تحت سطح الأرض كثيرا من منطقة إلى أخرى. وأهم العوامل التى تؤثر فى مستوى منسوب الماء هى كمية الأمطار التى تسقط على منطقة ما، وطوبوغرافية الأرض. وعلى سبيل المثال، قد ينخفض منسوب الماء الأرضى كثيرا خلال فترات الجفاف مما يسبب جفاف الآبار، وعلى النقيض من ذلك، ففى الفصول المطيرة قد يرتفع منسوب الماء الأرضى ليصل إلى قرب سطح الأرض. وبصفة عامة فهناك توافق تقريبى بين منسوب الماء الأرضى وتشكيل سطح الأرض، فيما عدا الحالات التى يكون فيها هذا المنسوب أكثر قربا من سطح الأرض فى الوديان، بينما يوجد عند أعماق بعيدة جدا فى التلال والجبال. وتتكون المستنقعات swamps والبحيرات lakes والمناقع ponds عندما يتقاطع منسوب الماء الأرضى مع سطح الأرض. وإذا تجمع الماء الأرضى فى صخور مستودع مائى يعلو طبقات غير منفذة، فإن هذا الماء يصبح منعزلا عن منسوب الماء الأرضى العادى normal water table (شكل ٦٨) وفى هذه الحالة يتكون ما يسمى بمنسوب الماء الجاثم perched water table، حيث إنه يوجد فى مستوى أعلى من المنسوب العادى.



شكل (٦٨)
منسوب الماء الجاثم

١٤- أشكال المياه الأرضية Forms of Ground Water

بالرغم من إمكانية جلب كميات كبيرة من المياه إلى السطح عن طريق الآبار، إلا أن معظم المياه الأرضية تصل إلى سطح الأرض نتيجة للنز الطبيعى natural seepage كما فى حالة الينابيع.

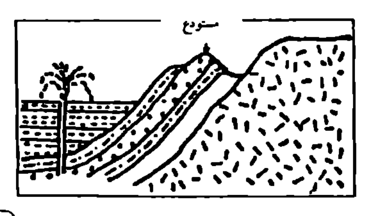
• الآبار Wells

البئر هى ثقب يحفر فى الأرض إلى عمق يصل إلى منسوب الماء الأرضى. وتعد البئر مستديمة إذا كانت بعمق لا يكون منسوب الماء الأرضى عنده تحت مستوى قاع البئر، حتى خلال فترات الجفاف الشديد. ولا بد أن تخترق البئر منطقة التشبع إلى أبعد عمق ممكن، ويجب أن تتخذ كل الاحتياطات لئلا تتعرض مياه البئر للتلوث.

• الآبار الارتوازية Artesian Wells

هى الآبار التى يكون فيها الضغط الهدروستاتيكى (ضغط الماء) كافيا لجعله يرتفع فوق المستوى الذى قوبل عنده لأول مرة (وقد تنساب هذه الآبار أو لا تنساب خارجه إلى سطح الأرض). وقد تُنتج الآبار الارتوازية كمية كبيرة من الماء؛ ونظرا لأنها لا تعتمد على سقوط الأمطار الموسمية، فإنه يمكن الاعتماد عليها أكثر من الآبار الاعتيادية ordinary wells.

ولكى تتكون بئرا ارتوازية جيدة، فلابد أن تتوافر شروط معينة، إذ لا بد أن يكون المستودع المائى (حجر رملى أو جرول أو طباشير) مائلا بعيدا عن السطح، ولا بد من وجود صخور غير منفذة فوق وأسفل المستودع (شكل ٦٩). بالإضافة إلى

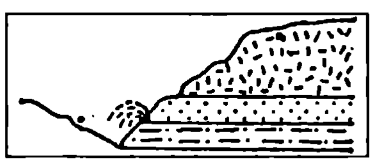


شكل (٦٩)
بئر ارتوازية

ذلك فلا بد أن يكون الخزان متكشفا عند السطح فى منطقة معرضة للأمطار بقدر كاف يضمن إعادة تزويد النظام الارتوازى بالماء وإلى ارتفاع أعلى من موقع البئر. هذه الظروف سوف تولد ضغطا هدروستاتيكيا كافيا لتكوين البئر الارتوازية. وتوجد آبار إرتوازية كثيرة فى حوض لندن London-Basin تصل بأعماقها إلى الطبقات الطباشيرية. ويوجد مثال واضح للآبار الارتوازية يمكن مشاهدته من خلال نوافذ قطار بورتشموث Portsmouth قبل محطة بيترفيلد Petersfield مباشرة.

• الينابيع Springs

تتكون الينابيع حينما تنساب المياه الأرضية وتندفع خارج سطح الأرض باستمرار تقريبا. وتوجد الينابيع المعروفة باسم ينابيع جانب التل hillside springs فى مناطق التلال حيث يتقاطع عندها منسوب الماء الأرضى مع سطح الأرض (شكل ٧٠).



شكل (٧٠)

ينبوع على امتداد مستوى التطبق

• ينابيع الشقوق Fissure Springs

وهذه تتكون طبيعيا، وهى نوع من الآبار الارتوازية، وفيها يصل الماء إلى سطح الأرض من خلال الشقوق الموجودة فى الصخور وينساب خارجا بقوة دفع كبيرة.

• الينابيع الحارة Hot Springs

ويطلق عليها أيضا الينابيع الحرارية thermal springs، وهذه مياهها ساخنة وربما تصل درجة حرارة مياهها إلى درجة الغليان، وينشأ ذلك من تلامسها مع الصخور الساخنة تحت سطح الأرض. وتوجد أمثلة من هذا النوع فى أركناس

وكذلك يلوستون فى المتنزه القومى National Park وفى وايومنج Wyoming بأميركا الشمالية وكذلك فى نيوزيلندا.

وفى الينابيع المعدنية mineral springs تحتوى المياه على كمية غير عادية من الأملاح الذائبة مثل كلوريد الصوديوم والبوتاسيوم والبيكربونات وكبريتات المغنسيوم. وقد تحتوى على غازات فى بعض الأحيان مثل غاز ثانى أكسيد الكربون أو غاز كبريتيد الهدروجين الكريه الرائحة.

• المراجل Geysers

هى نوع خاص من الينابيع الساخنة التى تثور على فترات.

١٥- التحات بالمياه الأرضية Erosion by Ground Water

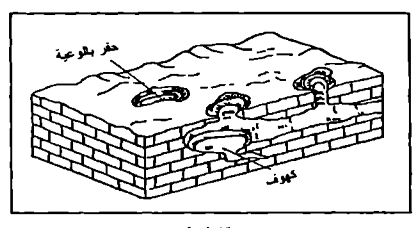
تعد المياه الأرضية عاملا مهما فى عمليات التحات والنقل والترسيب. وتعمل فى هذه المجالات على نطاق واسع وتؤدى عملها التحاتى عن طريق النشاط الكيميائى وتحمل معظم حمولتها فى صورة محاليل. ويتكون حمض الكربونيك نتيجة لتفاعل الماء الأرضى مع غاز ثانى أكسيد الكربون الموجود بوفرة فى الهواء وكذلك الناتج عن تحلل المواد العضوية الموجودة فى التربة.

وحينما تصبح المياه الأرضية محتوية على حمض الكربونيك فإنها تصير عاملا مهما فى عمليات التحات وخاصة فى المناطق التى توجد فيها صخور رسوبية قابلة للذوبان. وحينما تمر هذه المياه الأرضية فى الصخور الجيرية أو الدولوميت، فإنها تذيب أجزاء من الصخر وتحملها فى صورة محاليل، وبذلك تصبح صخور الأساس الصخرى محتوية على الفجوات وأحواض الذوبان، وقد تتكون الجسور الطبيعية، وتسمى المناطق السطحية التى توجد فيها هذه الظاهرة باسم مناطق الكارست karst، وترجع التسمية إلى منطقة كارست فى يوغوسلافيا. وتوجد بعض المناطق فى بريطانيا تنتمى إلى ظاهرة الكارست، لكن الأمطار الغزيرة وكثافة النباتات فى هذه المناطق تجعلها مختلفة عن أشكال الكارست الحقيقية.

• الكهوف Caverns

تتكون الكهوف بفعل المياه الأرضية. وتتم هذه العملية عن طريق الذوبان الذى يتسبب فى زيادة حجم الشقوق التى تتحول إلى سلاسل على شكل أنفاق

وحجـرات تحت الأرض (شكل ٧١) ويتكون سقف الكهف في العادة من صـخور مقاومة للفعل الإذابي للمياه الأرضية.



شكل (٧١)
الكهوف والحفر البالوعية فى منطقة الكارست الطوبوغرافية

ولقـد أثارت الكهـوف اهتـمـام الإنسـان منذ زمن طويل، وربما كـانت هى مـسكنه الأول. ويوجـد كـهف كبير فى كـاسلتون Castleton (دربيشـاير) بإنجلترا وكان يستخـدم ملجأ فى وقت الحرب ويعد هو وغيره فى كـاسلتون وتشيـدار من المزارات السـياحية.

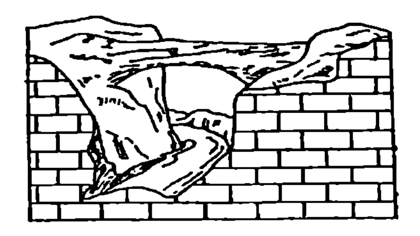
• ثقوب حوضية Sink Holes

فى بعض الأحيان توجد كهوف وفـجوات قريبة من سـطح الأرض مما يـسبب انهيـار أسقفهـا، فتـرك منخفضـات دائرية تقريبا، وتسـمى الثقوب الحوضـية أو أحواض الذوبان، وتوجـد عـادة فـى مناطق الـكارست الطوبوغرافية، وأحـيانا ما ينسـاب نهر فى هذه الثقـوب أو فى أحـواض الذوبان فيختفى تحت سطح الأرض، وفى هذه الحـالة يـسمى «النـهر المفـقود». وقـد تمتلئ بعض هذه الشـقوب بالركـام الصخرى ويتجمع فيها المـاء مكونًا مـستنقعات أو بحيرات.

• القناطر الطبيعية Natural Bridges

تتكون القنطـرة الطبيعية (الجسـر الطبيعى) (شكل ٧٢) عندما ينـساب نهر فى فتحة من الصـخر، فيذيب جزءا منه مكونا ما يشبـه النفق، ويظهر على جرف أو

منحدر على الجانب الآخر. وقد تنهار أجزاء من هذا النفق وتحمل بعيدا، فيمى ما يتبقى من النفق قنطرة طبيعية natural bridge.



شكل (٧٢)
قنطرة طبيعية

١٦-الترسيب بالمياه الأرضية Deposition by Ground Water

حينما تصبح المياه الأرضية فوق مشبعة بالمواد المعدنية، فإنها ترسب بعضا من هذه المواد. ويحدث هذا الترسيب بطرق مختلفة، نتيجة للاختلاف فى درجات الحرارة أو الضغط أو فقدان الماء نتيجة لعملية البخر، وفيما يلى وصف لبعض الملامح الترسيبية التى تتكون بفعل المياه الأرضية:

•رواسب الينابيع Spring Deposits

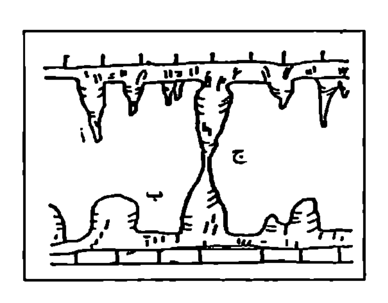
تحتوى بعض المياه الأرضية على كميات كبيرة من المواد المذابة إلى الحد الذى يضطرها إلى ترسيب ما بها من حمولة بعد وصولها إلى السطح مباشرة. وغالبا ما تكوّن هذه الرواسب شرفات ومخاريط حول العيون الساخنة والمراجل geysers. وتسمى المواد الجيرية المتكونة بهذه الطريقة باسم «الترافرتين travertine».

وتسمى صخور الترافرتين المسامية باسم «الطوفا الجيرية calcareous tufa» وإذا ترسبت المواد السليسية siliceous حول الينبوع الساخن فإنها تسمى سليكا

ينبوعية. أما الجيزريت geyserite فهى الرواسب التى تتكون حول قصبة الحَمّة أو المرجل.

• رواسب الكهوف Cavern Deposits

كما هو متوقع، فإن عملية الترسيب من المياه الأرضية تحدث تحت سطح الأرض. وأكثر الأمثلة شيوعا هو ترسيب كربونات الكالسيوم على هيئة صخر الترافرتين، ولكنه قد تكون أيضا ترسيات صخرية من الجبس والملح الصخرى. وإذا تساقطت المياه الأرضية الغنية بالكالسيت بصفة مستمرة على هيئة قطرات من نقطة بعينها فى سقف الكهف فستكون فى نهاية الأمر رواسب متدلية فى هذه النقطة تسمى الهوابط stalactites (شكل ٧٣ أ) وهذه الهوابط بعضها مصمت وبعضها مجوف ويقطر الماء المشبع بالمعدن من خلالها وتتدلى من سقف الكهف. أما الصواعد stalagmites فهى كتل من كربونات الكالسيوم تأخذ شكل الرابية الصغيرة وتنمو الواحدة منها على أرضية الكهف عند النقطة التى يقطر فيها الماء من إحدى الهوابط بالسقف (شكل ٧٣ ب). وقد تصل الصواعد بالهوابط لتكون أعمدة column (شكل ٧٣ جـ).



شكل (٧٣)

رواسب الكهوف

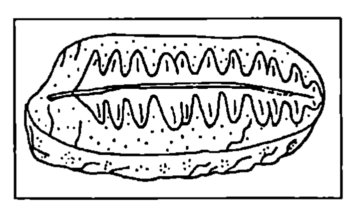
أ- هوابط. ب- صواعد. ج- أعمدة.

• السمنتة Cementation

تلعب المياه الأرضية دورا مهما فى سمنتة جسيمات الصخر. ويحدث ذلك حينما تترسب المعادن المحمولة فى المياه الأرضية بين الحبيبات المفككة فتعمل على ربطها بعضها مع بعض. وبهذه الطريقة تصبح الرمال السائبة صخرا متماسكا هو الحجر الرملى، حينما تترسب السليكا بين حبات الرمال التى يتكون منها.

• الدرنات الصخرية Concretions

تكون الدرنات الصخرية عندما يرسّب الماء الأرضى المعادن التى يحملها حول جسم ما، حتى لو كانت ورقة شجرة (شكل ٧٤)، أو صدفة أو حصاة، وتتخذ الدرنات الصخرية أشكالا مختلفة وتكون لها أيضا حجوم مختلفة.



شكل (٧٤)

ورقة من السرخسيات فى درنة صخرية من الحجر الجيرى

• الفجوات (النرجيل الصخرى) Geodes

هى فجوات كروية تقريبا قد تمتلأ جزئيا أو بأكملها بمواد تتجه بلوراتها نحو داخل الفجوة.

• رواسب الشقوق أو العروق Fissure Deposits or Veins

حينما يرسّب الماء الأرضى فوق المشبع بالمعادن، ما به من حمولة فى الشقوق والفجوات تتكون العروق المعدنية. ومن أشهر أنواع العروق المعدنية عروق الكالسيت والكوارتز. وقد تحتوى بعض أنواع العروق المعدنية على درنات من معادن فلزية مثل الذهب والفضة والنحاس.

• الإحلال أو التحجر Replacement or Petrification

الإحلال عملية تتم فيها إذابة نوع من المواد بواسطة المياه الأرضية ويحل محله نوع آخر. وإذا كان الإحلال للمادة العضوية فإن العملية تسمى تحجرا petrification. ويتكون الخشب المتحجر عندما تحل السليكا مكان الخلايا الخشبية فى شجرة ما.

١٧- المياه الأرضية والإنسان Ground Water and Man

تخدم المياه الأرضية الإنسان فى أغراض كثيرة، فهى حيوية للزراعة حيث تحتاج النباتات إلى كميات كبيرة من الماء تمتصها جذور النباتات من التربة. وفى المناطق القاحلة تحتاج عمليات الزراعة إلى كميات كبيرة من الماء للرى يحصل عليها من الآبار. كذلك تعتمد الصناعة بشكل أساسى على الماء ومصادره. ومع أن الماء السطحى هو الذى يستخدم بكثرة فى معظم الأغراض الصناعية، لكنه لا بد من الاستفادة من الماء الأرضى إذا لم يكن الماء السطحى متاحا.

١٨- الأمطار Rains

قبل أن ننتهى من هذا الفصل الخاص والذى تناولنا فيه فعل الماء كعامل جيولوجى مهم، لا بد أن نشير إلى أن الأمطار التى تسقط باستمرار على منطقة ما، تفكك حبيباتها الصخرية وتحملها إلى الجداول والأنهار. وفى المناطق القاحلة، يكوّن المطر القليل خيرانا ونهيرات حيث توجد الرواسب الصلصالية تحت الأديم.

الفصل الثامن

العوامل الچيولوچية: المثالج والرياح والجاذبية

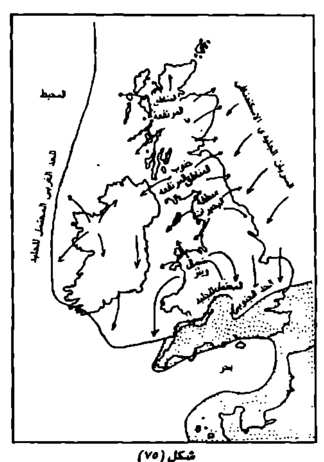
GEOLOGIC AGENTS : GLACIERS , WIND AND GRAVITY

المثالج كتل ضخمة من جليد البر، تتحرك ببطء وتكونت نتيجة لعملية إعادة تبلور الثلج. وكانت الكتل الجليدية الضخمة من الثلوج الطافية فى فترة ما، تحتل أكثر من ثلاثين فى المئة من مساحة سطح الأرض؛ لكن هذه المساحة تصل إلى أقل من ١٠٪ فى الوقت الحالى. وقد حدثت العصور الجليدية مرات عديدة خلال التاريخ الچيولوچى للأرض، لكن أكبرها كانت فى زمن البليستوسين Pleistocene (الفصل الثامن عشر).

ولقد أمدتنا الفترات الجليدية بسجلات واضحة عن النشاط المثلجى، حيث تغطت معظم أمريكا الشمالية وأوربا بطبقات هائلة من الجليد خلال زمن البليستوسين (شكل ٧٥).

وفى الوقت نفسه التى كانت تجتاح فيه الفترات الجليدية تسمانيا وجنوب شرق أستراليا منذ الدور البرمى Permian Period، تراجعت الثلوج مخلفة وراءها تغييرات هائلة، نشأ عنها انقراض كثير من الحيوانات والنباتات، بعد أن أصبحت المناطق حارة وقاحلة، وجفت الأنهار وتبخرت البحيرات. وتراجع آخر غطاء جليدى من فوق بريطانيا منذ مدة زمنية تتردد بين عشرة آلاف وخمسة عشر ألف سنة. لكن قبل هذا التراجع الجليدى، غطت الثلوج قمم التلال حتى وصلت إلى خط التيمز- سفرن Thames - Severn Line، وإلى الجنوب من هذا الخط امتدت تغطية قمم التلال بالثلوج.

وفى أثناء الفترات الجليدية، تنشأ تغيرات فيزيقية وبيولوجية، تحدث عادة فى منطقة المثالج. ففى خلال دور البليستوسين انخفض مستوى سطح البحر، نتيجة لتجمد الماء إلى جليد. وحينما بدأ الجليد فى الانصهار إلى الماء، عاد كثير من الماء إلى البحر مرة أخرى فتسبب فى ارتفاع منسوب الماء فى البحر ثانية. وبالإضافة إلى التغيرات التى حدثت فى مستوى سطح البحر، فهناك أدلة محسوسة تشير إلى أن سطح القشرة الأرضية قد هبط وأن القشرة نفسها انتابتها عملية التواء بسبب الثقل العظيم لطبقات الثلوج. كذلك حدثت تغيرات



شكل (٧٥)

توزيع المثالج خلال دور البليستوسين (المنطقة المظللة)

أخرى مثل تكوين بحيرات جديدة ومستنقعات شملت منطقة البحيرات العظمى. وأيضا حدثت تغيرات فى مجارى الأنهار واتجاهات جديدة فى هجرة النباتات والحيوانات بعدما أصبح المناخ أشد برودة.

والآن لنبحث تأثيرات المثالج فى الماضى والحاضر، ومدى الدور الذى تلعبه هذه الكتل الثلجية العظيمة فى تشكيل سطح الأرض وتاريخها.

١- أصل المثالج Origin of Glaciers

فى المناطق التى يتساقط فيها الثلج بغزارة، ويكون معدل درجة الحرارة السنوى منخفضا جدا، يظل الجليد فى مكانه كما هو طول العام. أما فى المناطق ذات المناخ المعتدل، أو الاستوائى، فيظل الجليد موجودا فى أعالى

الجبال الشـاهقة فقط ·ومع ذلك ففى المناطق المتجـمـدة، تغطى الأرض بالثلوج والجليـد بصـفة دائمـة حتى لو كـانت ترتفع عن مـستوى سطـح البـحـر بقليـل. ويـسمى الحـد الأدنى للتـجـمـد الدائم بـاسم خط الثلـج snow - line. والآن يتحدد هـذا الخـط أسـاسا بخط العرض، ويوجـد الجليد عنـد مناسـيب منخفضـة مع زيـادة خط العرض، فـعلى سبيل المثال عند خط عـرض ٩٠° شـمـالا (القطـب الشـمالى) يكون خط الـثلج عند مستوى سطح البحـر، وعـنـد خـط الاستواء (خط عـرض صفـر) يكـون خط الثلج عند ارتفـاع ١٨ ألف قـدم فوق منـسوب سطح البحر. وتوجد الحقول الثلجية snow fields على هيئة تجمعات كتلية من الثلوج فوق خط الثلج، حيـث تتكون الثلوج . وبعد تكونها، تتصلـب وتصـبح فى صورة جـسيمات جليدية فى حجم الكريـات الحبيبـة وتـسمى أراضى الثلج Néve أو فِرْن Firn . وتغطى الأراضى بالثلوج التى تتكون بعد ذلك، ثم تنضغط بالتدريج حتى يصبح المسـتوى السـفلى لحقل الجليد متماسكا وعلى هيئة كـتلة هائلة من الجليد وتتعرض أراضى الثلج إلى تغيـرات تتحول بموجبها كتلة الجليـد بأكملها إلى جليد مثلجى glacial ice، يتحرك ببطء إلى أسفل التل بفـعل الجاذبية، إذا تراكمت منه كميات تكفى لتحركه.

٢- أنواع المثالج Types of Glaciers

يصـنف الجيولوجيون المثالج إلى ثلاث مجموعات عادة:

أ- مثالج الوادى valley glaciers

ب- مثالج أقدام الجبال piedmont glaciers

جـ- شراشـف الجليـد أو المثالج القارية ice - sheets or continental glaciers

أ- مثالج الوادى Valley Glaciers

تـسمى أيضـا باسم المثالـج الألبيـة Alpine أو مثـالج الجـبال mountain glaciers. وتنشأ مثالج الوادى فى حقـول الثلج عند رؤوس وديان الجبال. وتتبع حركـتهـا إلى أسفل الأودية المنحـوتة بالأنهار القـديمة old stream - cut valleys

والتى تملئ أحيانا من الجدار إلى الجدار بجليد المثلجة glacier ice وتتردد مساحة مثلجة الوادى من مئات قليلة من الياردات المربعة إلى العديد من الأميال المربعة. كذلك يتردد طولها من مئات قليلة من الياردات إلى ٧٥ ميلا أو أكثر من ذلك. وتوجد مثل هذه المثالج فى جبال الألب وجبال الهيمالايا وجنوب نيوزيلندا.

ب- مثالج أقدام الجبال Piedmont Glaciers

فى بعض الأحيان قد تنبثق مثلجتان واديتان أو أكثر من أودية الجبال المجاورة و تزحف إلى السهول فى المستويات الدنيا، وفى هذه الحالة تتحد النهايات السفلية للمثالج وتكون كتلة ثلجية عريضة ومستديرة تسمى مثلجة قدم الجبل. ومن أشهر هذا النوع من المثالج مثلجة ملاسبينا Malaspina التى توجد على الجانب الغربى لخليج ياكوتات Yakutat Bay فى ألاسكا، وتغطى هذه المثلجة مساحة قدرها ١٥٠٠ ميل مربع تقريبا (٤٠٠٠ كم^{2}). وقد تكونت مثلجة مالاسبينا من اتحاد عديد من مثالج الأودية التى نشأت على منحدرات جبل سان إلياس القريب.

جـ- شراشف الجليد أو المثالج القارية Ice Sheets or Continental Glaciers

تعرّف كتل الجليد المتسعة التى تغطى مساحات هائلة باسم الشراشف الجليدية أو المثالج القارية (وهناك أغطية جليدية صغيرة نسبيا محدودة المساحة وتسمى قلنسوات الجليد ice caps).

وقد يكون الشرشف الجليدى سميكا جدا فى العادة، وينتشر من مركز كتلة برية نحو الخارج حتى إنه قد يغطى معظم القارة بأراضيها المرتفعة والمنخفضة على حد سواء. وقد تبرز قمة جبل معزول فوق سطح الجليد، وتسمى فى هذه الحالة باسم نوناتاك Nunatak. وتوجد أكبر مساحات الشراشف الجليدية فى العالم فى القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) Antarctica حيث يغطى الجليد معظم هذه القارة التى تعادل مرتين مثل مساحة قارة أستراليا. وقد يبلغ سمك الجليد فى بعض الأماكن عشرة آلاف قدم. وتبلغ مساحة الشرشف الجليدى فى جرينلاند حوالى ٧٦٠ ألف ميل مربع (١,٧ مليون كيلو متر مربع)، وربما يصل سمك الجليد إلى ١١ ألف قدم.

٢- حركة المثالج Movement of Glaciers

بالنسبة للملاحظ العادى، قد تبدو المثلجة كأنها مستودع لكتل من الجليد. لكن المثالج مثل الأنهار، تتحرك ولكن ببطء شديد، وقد تتحرك المثلجة إلى الأمام لمسافة تتردد من بوصة واحدة إلى حوالى ١٠٠ قدم فى اليوم الواحد. وهناك عوامل تتحكم فى معدل حركة المثلجة منها:

أ- حجم المثلجة (كلما زاد سمك المثلجة زادت سرعة حركتها).

ب- انحدار وطوبوغرافية الأرض.

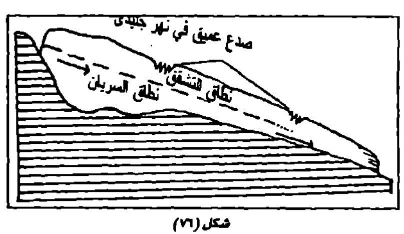
جـ - درجة حرارة المنطقة (تتحرك المثالج أسرع كلما ارتفعت درجة الحرارة).

د- كمية الماء غير المتجمد فى المثلجة.

وطبيعة حركة المثلجة عملية معقدة نسبيا، وبصفة عامة، قد تبدو المثالج كأنها تتحرك عندما تتسبب قوى الجاذبية والضغط الناشئ عن الجليد المتراكم فى جعل الجليد الموجود فى المستويات السفلية من المثلجة فى حالة لدنة (طريا وقادرا على الانسياب).

ويوصف الجليد فى هذا الجزء السفلى من المثلجة بأنه موجود فى منطقة الانسياب zone of flow . أما الجليد الأقل لدونة والموجود فى الجزء العلوى من المثلجة فيحتل منطقة الكسور (التشدُّخ) zone of fracture (انظر شكل ٧٦). وبالإضافة إلى ذلك، فإن الفترات المتبادلة للانصهار والتجمد تحدث تمددا للجليد يؤدى إلى زيادة فى حركته. وتشبه الحركة المثلجية حركة النهر إلى حد ما، إذ تتحرك المثلجة فى الجزء الأوسط فيها بسرعة أكبر من سرعتها على طول جوانبها، وكذلك تكون سرعتها عند سطحها الأعلى أكبر من سرعتها على طول القاع. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الاحتكاك على امتداد جوانب المثلجة وعند قاعها يؤخر الحركة فى هذه الأماكن. وحيث إن المثلجة تتبع المسار الملتوى لواديها، وتمر كذلك فوق أماكن غير منتظمة فى أرضية الوادى، فقد يتسبب الشد فى حدوث

كسور فى الجليد القصيف فى منطقة التكسر. وتنتج عن هذه الكسور شقوق تسمى «شقوق جليدية» glacial crevasses (شكل ٧٦)، وقد يبلغ طول الواحد منها مئات الأقدام. وقد تختفى هذه الشقوق الجليدية تحت قشرة رقيقة من الثلج تتكسر بفعل أى ثقل بسيط. لذلك فهناك مصدر خطر دائم للأشخاص المسافرين فوق سطح المثلجة. وقد تستمر المثلجة فى حركتها إلى أن تصل إلى منطقة يسود فيها هواء دافئ فينصهر الجليد بنفس السرعة التى تتقدم بها المثلجة ثم تتوقف جبهة الجليد عند مقدم المثلجة، وفى نهاية الأمر تتراجع المثلجة إذا انصهر الجليد بسرعة أكبر من سرعة تقدمه.



شكل (٧٦)
قطاع مستعرض فى واد مثلجى

وكثير من المثالج تواصل تقدمها إلى أن تصل إلى البحر، حيث تتكسر كتل ضخمة من المثلجة لتكوّن كتلا طافية تسمى جبال الجليد Icebergs، التى تطفو وتبتعد عن مقامها الأصلى إلى أن تصل إلى مياه دافئة فتنصهر هناك.

٤- النحات المثلجى Glacial Erosion

يشتمل العمل الجيولوجى للمثالج على عمليات النحات والنقل والترسيب، شأنه فى ذلك شأن العوامل الجيولوجية الأخرى. ويبلغ الفعل النحاتى للمثلجة درجة كبيرة من القوة، بحيث لا يعوقها أى شيء وهى تحرث أوديتها أو تمتطى معالم برية ناتئة حتى تغطى قارة بأكملها. وتتم عملية النحات الجليدى بطريقة أو بأكثر من الطرق التالية:

أ-الاقتلاع Plucking or Quarrying

تعمل المثلجة على تكسير والتقاط الكسر الصخرية من طبقة الأساس الصخرى.

ب-السحج Abrasion

يتسبب الجليد وما به من حطام صخرى ملتقط ومقتلع فى خدش وصقل طبقة الأساس الصخرى التى يمر عليها.

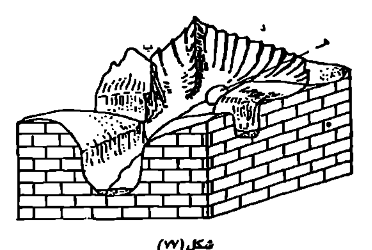
جـ-الحرث Ploughing

قد تندفع المواد السائبة loose على طول المثلجة أو قد تسقط المواد الصخرية من جدران الوادى وتستقر فوق قمة الجليد.

● النحات بفعل مثالج الوادى Erosion by Valley Glaciers

تعد مثلجة الوادى من العوامل المؤثرة والفعالة فى عملية النحات، وتؤدى إلى تطورات كبيرة فى المنطقة التى تحتلها. وتنشأ مثالج الوادى فى المنزلقات corries أو فى المناطق المتدرجة فى الجبال cirques، وكذلك فى المنخفضات شبه الدائرية التى تطورت نتيجة لتعميق وتكبير رأس وادى الجبل.

وحينما تتكون منزلقات عديدة وتكون مجاورة لبعضها البعض، كما هو الحال فى الموقع الكلاسيكى فى سنودون Snowdon، قد تصبح الحيود التى تفصلها حادة وخشنة، مما يؤدى إلى جعل الحيد ذى حافة كنصل السكين وحينما ينحات منزلقان من ناحيتين متعاكستين، فقد يتقابلان ليكونا ممرا pass أو مضيقا col. وتنتج القمة شبيهه القرن horn فى مرحلة متأخرة من الثلج بعد أن تكون قمم الجبال الماقبل الثلجية preglacial mountains قد تقلصت إلى قمم منعزلة. وعندما يختفى الجليد الثلجى، قد تمتلئ المنزلقات بالماء فتكون بحيرات مثلجية glacial lakes تسمى تارن "Tarn". مثال ذلك البحيرة الثلجية «تارن» الموجودة فى مالهام Malham فى غرب ردنج Riding فى يوركشير، وكذلك كثير من البحيرات بشمال ويلز. وبعض هذه الظواهر موضحة فى (شكل ٧٧).



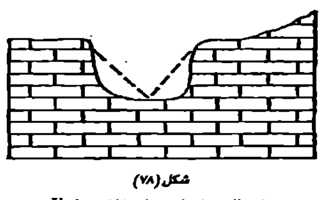
شكل (٧٧)

الظواهر المتكونة فى الوديان المثلجية

أ- واد معلق. ب- مضيق بين قمتين.

ج- قرن. د- كهف. هـ- بركة جبلية.

وتتطور الوديان التى تحتوى على مثالج بطرق متعددة، كأن تطحن المثلجة جدران الوادى فتجعل أرضية الوادى ملساء. وتزداد الوديان الشابة عرضا وعمقا، ويتغير شكل قطاع الوادى من حرف " V" إلى حرف "U" (شكل ٧٨)، ومثال ذلك ممر ليانبيرس Lianberis Pass وكذلك منطقة Tal- y -Llyn تال -واى - لين فى شمال ويلز بإنجلترا، وبالإضافة إلى ذلك فإن جدران الوادى وأرضيته تُخدش وتُخَدَّد وتصقل بفعل الركام الصخرى الذى يحمله الجليد الثلجى glacial ice.



شكل (٧٨)

واد مثلجى نموذجى على شكل حرف U

وتسمى هذه العلامات التى تكوّنها المثالج باسم الحزوز الجليدية glacial striations إذا كانت خدوشا أو حزوزا، أما إذا كانت الحزوز عميقة فإنها تسمى

الثُلم الجليدية (الأخاديد) glacial grooves. أما البروزات التى توجد فى أرضية الوادى فتأخذ أشكالا مستديرة وتصبح ملساء لتكون ما يسمى الصخور الضأن Roches Moutonneés (شكل ٧٩) وهو مصطلح فرنسى يعنى الصخور التى تشبه فى مظهرها «فروة الخروف»، وبالإضافة إلى ذلك، فإن جزءا كبيرا من أرضية الوادى التى تتحرك المثلجة فوقها يطحن ليكوّن ما يسمى بالطحين الصخرى rock flour.

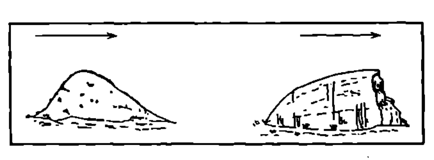
ويكون الوادى المثلجى الرئيسى الذى يعرف باسم المجرى المثلجى glacial trough، أكثر عمقا من الروافد أو من جوانب الوديان المؤدية إليه. وعندما ينصهر الجليد، يبقى هذا الرافد معلقا فى مستوى أعلى من أرضية الوادى الرئيسى وتسمى هذه الأودية باسم الوديان المعلقة hanging valleys. وفى العادة، فإن الأنهار التى تجرى فى هذه الوديان، تكوِّن مساقط مياه وعرة steep waterfalls تغطس فى الوديان الرئيسية الأكثر عمقا. وتعد مساقط مياه يوسميت Yosemite Falls فى كاليفورنيا أمثلة نموذجية لهذا النوع من مساقط المياه بالرغم من أن هذا الجزء من كاليفورنيا يعد من المناطق المثلجية التقليدية classic glacial area. وتوجد مناطق فى بريطانيا تتميز بوجود مثل هذه الظواهر كمنطقة سنودونيا Snowdonia. وحينما تتحرك المثلجة من الجبال إلى البحر، قد يحفر الجليد واديه أسفل مستوى سطح البحر، وعندما ينصهر الجليد، يجتاح البحر هذا الوادى فتتكون بذلك الفيوردات fiords التى تمثل أذرعا ضيقة للبحر تكون عادة عميقة وذوات جدران وعرة. وتتميز سواحل النرويج بصفة خاصة بكثرة الفيوردات فيها. وتوجد الفيوردات كذلك فى نيوزيلندا.

• النحات بالشراشف الجليدية Erosion By Ice Sheets

الشراشف الجليدية لها سمك كبير وانتشار واسع وتغطى كثيرا من الظواهر السطحية البارزة بأكملها. وبسبب ذلك تصبح الجبال والتلال والوديان أيضا، معرضة لعملية النحات المثلجى glacial erosion. وبالتالى فإن الصخور التى توجد تحت الجليد، تتعرض للاقتلاع والخدش وتتكون فيها الثلم grooves. ويستدل على ذلك من الحزوز المثلجية glacial striations، والصخور التى تشابه فى مظهرها فراء خراف الضأن Roches Moutonneés. وتؤدى الشراشف الجليدية

أيضــا إلى تكون التــلال الجليــدية البــيــضــيــة الشكل drumlins، أو ذات الشكل الإهليلجى elliptical وتكون موازيـة لاتجاه حركـة الجليد (شكـل ٨٠). ويشيع وجود هذه التلال الجليدية فى كثير من وديان يوركشير بإنجلترا.

وعلى وجـه العمـوم، فإن الشراشف الجليـدية القـارية تعمل على جـعل الأسطح البارزة غير المنتظمة ناعمة ملساء، فـلا تعوق حركتها، أما التربة والوشاح الصخرى فقد تزول من مناطق كبيرة.



شكل (٧٩)
صخر على هيئة فروة خروف

شكل (٨٠)
تل جليدى بيضى الشكل

- تشير الأسهم إلى اتجاه حركة الجليد

٥- النقل الثلجى Glacial Transportation

تـسـتطيع المثـالج نقل كمـيـات هائلة من مواد الأرض، وقـد تكون الكـسـر الصخرية التى تنقلها المثالج ذات حجم كبير جدا. وبالتالى فإن الحمولة المثلجية قد تحتـوى على صخور دقـيقة جـدا وجلاميـد ضخمـة، بالإضافة إلى كل الحـجوم الأخرى التى تقع بين الحجم الدقـيق جدا والجلاميد الغليظة. وينقل الجـزء الأكبر من هذه المواد على السطح العلوى للمثلجـة ويكوّن مـا يـسـمى بالحمـولة فـوق المثلجية. وتسمى المواد المتجمدة والتى توجد فى داخل المثلجة باسم «حمولة داخل المثلجة» englacial load، بينما تكون الحمولة تحت المثلجية subglacial load من الصخور والتربة التى توجد على قـاع الكتلة الجليدية، وهذا الجزء هو المسئول عن العمل السحجى للمثلجة.

وفى العادة، فـإن مثـالج الوديان تحمل فـوق سطحها مـواد أكثـر مما تحمله الشراشف الجليديـة أو المثالج القارية. ويرجع ذلك إلى أن جزءا كـبيرا من الحطام

الصخرى يسقط من جدران الوادى ويتراكم فوق المثلجة، بالإضافة إلى أن جزءا من الحمولة قد يدفع أمام الجليد المتقدم. ونظرا للسمك الكبير للشراشف الجليدية، فإنها لا تجمع إلا كمية قليلة من الحطام الصخرى تحملها فوقها كحمولة فوق مثلجية superglacial؛ ولا تكون لها القدرة على حمل مواد كثيرة مثل المثلجة الوادية، بل إن معظم حمولتها تكون متجمدة frozen فى داخل القاع الجليدى أو تدفع أمام هذه الشراشف.

٦-الترسيب المثلجى Glacial Deposition

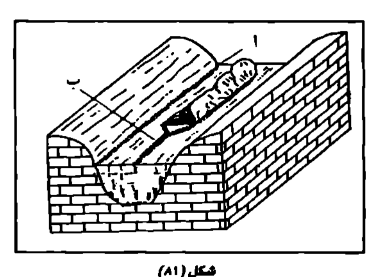
تتكون الحمولة المثلجية من صخور وأجزاء من التربة مختلط بعضها مع بعض بلا نظام، وبغض النظر عن الحجم أو الوزن أو التركيب. وعندما ينصهر الجليد، فسوف يسقط الحطام الصخرى، لتكون منه أنواع مختلفة من الرواسب تسمى بالمنجرف المثلجى glacial drift. وهناك نوعان من هذه المنجرفات هما:

أ- الحريث till وهو عبارة عن منجرف مثلجى غير طباقى وغير مفروز بفعل الماء، لأنه ترسب مباشرة بفعل الجليد.

ب-المنجرف الطباقى stratified drift ويتكون من مواد مفروزة sorted ترسبت فى طبقات محددة بفعل الماء الذى تكون من انصهار الجليد.

ويترسب الحريث ttill الذى يطلق عليه اسم الرواسب غير الطباقية unstratified deposits من الجليد مباشرة. وتتكون رسوبيات الحريث من كُسارة صخرية من حجوم مختلفة، الكثير منها مصقول ويحمل علامات من الحزوز المثلجية glacial striae. ومن أكثر أنواع رواسب المنجرفات شيوعا صلصال الجلاميد boulder clay الذى يتكون من كتل كبيرة مسطحة من الصلصال مع جلاميد أو حصى من كل الحجوم. وتوجد مكاشف الجلاميد فى كثير من الجروف والشواطئ حول فلامبوره Flamborough (يوركشير) بإنجلترا. وتكوّن رواسب الحريث ظواهر طوبوغرافية تسمى ركام المثالج glacial moraines وهى حيود أو رواب (مفردها رابية) mounds تتكون من جلاميد وجراول ورمال وصلصال ترسبت من المثالج. وهناك أنماط كثيرة من ركام المثالج، كل واحد منها يسمى على

أساس علاقته بالمثلجة. فهناك الركام المثلجى النهائى terminal moraine أو ركام النهاية end moraine، وهو عبارة عن رابية من الحريث تتكون عند نهاية المثلجة. ويشير هذا النوع إلى الوضع السابق لجبهة الجليد وهناك الركام المثلجى الانحسارى recessional moraines وهو رواسب من الحريث ترسبت فى أماكن متعددة عند مواضع انحسار المثالج المعتادة أو المثالج الثابتة مؤقتا temporarily stable. وتسمى رواسب الحريث غير المنتظمة التى ترسبت نتيجة لتقهقر المثالج المنصهرة باسم ركام الأرضية المثلجى ground moraines وتتكون التلال الجليدية البيضية الشكل drumlines على أسطح ركام الأرضية المثلجى، وكل نوع من ركام المثالج التى ذكرت يميز كلا من الشراشف الجليدية ومثالج الأودية ، ويوجد فى النوع الأخير نوعان من ركام المثالج التى لا تنشأ من الشراشف الجليدية. وفى العادة فإن مثالج الأودية تكوّن أو تخلّف الركام الجليدى الجانبى lateral moraines وهو حيود يتكون على جانبى المثلجة الوادية. ويتكون الركام الجانبى من المواد التى حدثت لها عملية تحات من جوانب الوادى، أو سقطت منها على سطح المثلجة ليحملها الجليد. وعندما يتصل واديان مثلجيان ليكونا نهرا واحدا من الجليد، فإن الركام المثلجى الجانبى lateral moraines يتحد ليكوّن ركاما مثلجيا وسطيا واحدا single medial moraine (شكل ٨١).



شكل (٨١)

قطاع مستعرض خلال واد مثلجى

أ- ركام مثلجى جانبى.

ب- منتصف الركام المثلجى.

• الجروفات الجليدية المغتربة Erratic

هى أحجار أو جلاميد نقلتها المثالج، تختلف فى تركيبها الصخرى عن طبقات الأساس الصخرى التى ترتكز عليها، وقد يصل وزن الحجر الواحد أو الجلمود الواحد منها أطنانا عديدة.

وقد وجد بعضها على بعد مئات الأميال من مكان مصدره، وقد تتوضع المجروفات الجليدية المغتربة على هيئة صف طويل، وكلها مستمد من مصدر مشترك، وتسمى فى هذه الحالة باسم قطار الجلاميد boulder train. وقد عثر على جلاميد من جرانيت شاب Shap Granite المميز متناثرة عبر نهر البيونينز Peunines شرقى شاطئ يوركشير بإنجلترا ·وعند خليج روبين هود، توجد مجروفات جليدية مع منجرفات ذات أصل اسكندنافى، مما يدل على أن مثلجتين كانتا قد اقتربت الواحدة منهما بالأخرى فى تلك المنطقة. وفى بعض الأحيان قد تبقى بعض المنجرفات الجليدية المغتربة جاثمة بغير ثبات فوق صخر المنطقة.

ب- الرواسب الطباقية أو رسوبيات الاكتساح

Stratified Deposits or Out Wash

تسمى المواد الصخرية التى ترسب فى الأنهار من ثلج انصهر باسم رسوبيات الاكتساح، وكذلك تعرف باسم الرواسب النهر مثلجية glaciofluvial. وقد تشكل هذه المواد النهرية الجيدة الفرز العديد من الأشكال الأرضية، وفيما يلى وصف لأكثر أنواع رسوبيات الاكتساح شيوعا:

• سهول الاكتساح Outwash Plains

رواسب مروحية الشكل، عريضة، تتكون من منجرفات ترسبت أمام المثلجة، وهى مميزة لـلشراشف الجليدية، وفى المثالج الوادية تـبقى معظم رواسب الاكتساح على امتداد أرضية الوادى، مخلفة ظاهرة تعرف باسم قطارات الوادى valley trains.

• الإسكرات Eskers

حيود طويلة من منجرفات طباقية stratified drift تماثل أرصفة خطوط السكك الحديدية، ويبدو أن المواد المكوّنة للإسكرات قد ترسبت فى أنفاق جليدية

بواسطة الأنهار التى كانت تجرى على طول قيعان المثالج . وبالرغم من أن بعض الإسكرات قد يصل طول الواحدة منها إلى أميال عديدة، ويصل ارتفاعها إلى نحو مئة قدم، إلا أن عرضها قد لا يتعدى أقداما قليلة. وتوجد أشهر أمثلة الإسكرات فى بريطانيا إلى الشمال من ولفرهامبتون Wolverhampton.

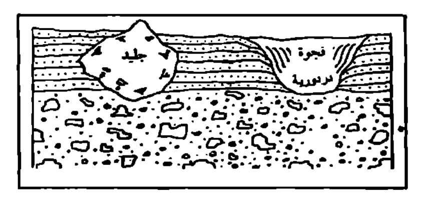
• الكامات Kames

هى تلال صغيرة لها جوانب شديدة الانحدار وقممها مسطحة تتكون من مجروفات طباقية من مواد تجمعت فى منخفضات دائرية فى المثلجة. وقد تتكون رواسب طباقية من الرمل والجرول بين جانب مثلجة محتضرة (wasting) وجدار الوادى المتصل بها، وتسمى شرفات الكامات kame terraces. ويمكن مشاهدة الكامات المثلجية بوضوح فى سكوتلندا بالقرب من كارستيرز Carstairs.

• فجوات دردورية Kettles

هى منخفضات قد يبلغ طول الواحد منها ميل ويصل العمق إلى مئة قدم، وتدل على مكان كتلة من الجليد دفنت فى رواسب اكتساحية (هذه الكتلة تخلفت من مثلجة محتضرة).

وعندما انصهرت كتلة الجليد تكونت الفجوة الدردورية kettle لتدل على مكانها (شكل ٨٢).



شكل (٨٢)

تكوين الفجوة الدردورية: كتلة من الجليد (إلى اليسار) مدفونة فى المكتسحات؛ وعند انصهار الجليد تتكون الفجوة الدردورية

• الصلصال الحولى Varve Clays

هو صلصال تكون فى البحيرات المؤقتة التى تكونت بفعل الجليد بما يشبه ظاهرة تكون الحفر الدردورية kettle. ويسجل هذا الصلصال الاختلاف الموسمى فى المواد المترسبة على هيئة أشرطة رقيقة thin bands.

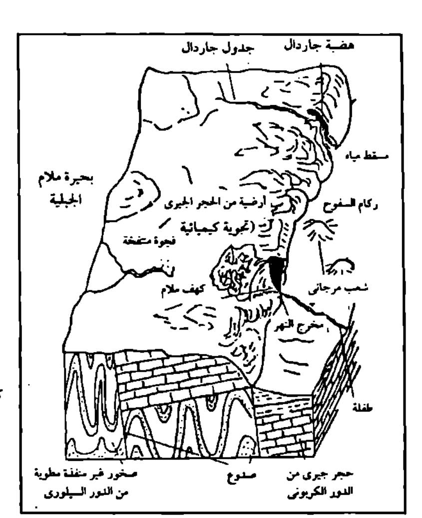
ويوجد الصلصال الحولى فى بريطانيا أحيانا، لكن أفضل مثال يمثله ما يوجد فى اسكندنافيا والذى استخدم على نطاق واسع فى حَلّ ألغاز العصر الجليدى.

• الأحدور والذيل Crag-and-Tail

حينما تمر مثلجة فوق سدادة نارية أو عنق بركانى صلب أو حول أيهما، قد يتسبب الجليد فى إزالة الحطام الصخرى غير المتماسك، لكنه يرسب مواد أخرى خلفه. وتكون النتيجة تلّ له وجه شديد الانحدار على أحد الجوانب، يسمى الأحدور، وعلى الجانب الآخر من التل يكون الانحدار لطيفا حيث يسمى هذا الجانب بالذيل. ويوجد مثال واضح لهذه الظاهرة. يمكن مشاهدته عند قلعة إدنبره Edinburgh Castle، وهذه الصخور تشبه فى مظهرها فراء خراف الضأن Roches Moutonnés، التى ذكرت من قبل، لكنها أكثر طولا منها.

وعندما انصهر الجليد الثلجى فى المناطق التى أصبحت الآن ذات مناخ معتدل، مثل بريطانيا، انطلقت كميات هائلة من الماء، وتعاظم فعل الأنهار الذى سبقت الإشارة إليه فى الفصل السابع. فمثلا، اندفعت جلاميد ضخمة على طول الممرات تحت أرضية فى الحجر الجيرى الإقليمى؛ وتسببت المياه الجوفية فى تكوين البرك الدوامية whirl-pools، ونحتت المداخن الطبيعية بفعل الحركات الدردورية للماء cork-screw action وفى الوقت الحالى، يمكن مشاهدة بعض الجلاميد المتبقية بغير نظام معين وهى تجثم على أسقف كهوف الحجر الجيرى بصورة مثيرة للدهشة.

ويمكن مشاهدة كثير من الظواهر الجيولوجية التى ذكرت فى الفصلين السادس والسابع وما يليها فى منطقة مالهام Malham، ويمثل شكل رقم ٨٣ رسما تخطيطا لهذه الظواهر.



شكل (٨٣)
كهف مالهام، يوركشير

٧- أسباب حدوث العصور الجليدية Causes of Glacial Periods

ما الذى يسبب حدوث العصور الجليدية ؟ بالرغم من أن الجيولوجيين لم يستطيعوا حتى الآن الإجابة عن هذه المسألة المعقدة، إلا أن دراساتهم عن سجل الأنشطة الجليدية فى الماضى وملاحظاتهم للعديد من المثالج الحالية، أدت إلى افتراض عدد من النظريات. وفيما يلى ملخص لبعض العوامل التى يحتمل أن تكون السبب فى حدوث الفترات الجليدية:

أ- ارتفاع الأرض Elevation of the Land

يبدو أن عصور الجليد كانت تتزامن مع الفترات التى كانت فيها القارات عالية وكانت درجات الحرارة المنخفضة عند خطوط العرض الأعلى هى السائدة؛ ويعتقد بأن الهبوط فى المعدل السنوى لدرجة الحرارة، عندما كانت القارات عالية، أدى إلى تكوين عصر جليدى.

ب- الاختلاف فى كمية الحرارة المكتسبة من الشمس

Variation in the Amount of Heat Received from the Sun

تعد الشمس هى مصدر الطاقة الحرارية للأرض، ومن المعلوم أن كمية الطاقة المتولدة من الشمس، قد تذبذبت بحوالى ٣٪ فى الأربعين سنة الأخيرة. وبالرغم من أن هذا ليس كافيا لحدوث التثلج، إلا أنه من المحتمل أن تكون قد حدثت تذبذبات أكبر فى الماضى الجيولوجى ·ويعزى اختلاف كمية الطاقة الشمسية التى يستقبلها سطح الأرض إلى سُحُب الغبار البركانى التى توجد فى جو الأرض أحيانا، أو ربما يكون السبب فى ذلك هو أن مدار الأرض حول الشمس كان مختلفا فى الماضى عن وضعه الحالى، وبالتالى فقد كان فصل الشتاء أطول وأشد برودة.

• اختلاف ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الجو

Variation in Carbon Dioxide and Water Vapour in Atmosphere

هذا سبب منطقى، يفترض أن ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء يساعدان الأرض على الاحتفاظ بالحرارة المستمدة من الشمس. والنقصان فى ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الجو يسمح لكميات أكبر من الحرارة بالتسرب عن طريق الإشعاع، وبالتالى ينشأ المناخ الأشد برودة. والأرض العالية المتزايدة الاتساع قد تؤدى إلى نقصان كمية بخار الماء فى الجو، وبالتالى يحدث نقصان فى قدرة الأرض على الاحتفاظ بالحرارة الشمسية.

وبالإضافة إلى ما ذكر سابقا، فإن عوامل أخرى مثل البركنة volcanism، وذوبان القلنسوة الجليدية القطبية نتيجة لتغيرات فى الدورة المحيطة، وتغير وضع القطبين الشمالى والجنوبى، كل هذه العوامل، قد تكون أسبابا ممكنة لحدوث عملية التثلج glaciation.

٨- عمل الرياح Work of the Wind

الرياح (الهواء المتحرك) عامل شديد الفعالية من العوامل الجيولوجية. وبالرغم من أن عمل الرياح ليس بنفس قدر عمل الماء أو الجليد إلا أنها، مع

ذلك، تعد عامـلا مهما من عـوامل تشكيل الأرض. وكما هو متـوقع، فإن عمل الرياح يكون فعـالا جدا فى المناطق القاحلة وشـبه القاحلة. ومن المشاهد الغـريبة صخرة تـسمى آيرز روك Ayers Rock بأستراليا طولها ميل ونصف الميل قد نحتت وتخددت وصقلت بفعل الرياح على مدى ٢٠٠ مليون سنة. وعلى أى حال فحتى المناطق الرطبة قد تصبح جافة خلال بعض الفترات، وفى تلك الأثناء تصبح التربة مفككة وتتعرض لعمليات الإزالة بفعل الرياح. وتتسبب الرياح أيضا فى نقل الغبار لمسافات كبيرة جـدا، ليترسب فى مناطق أخـرى يسود فيهـا المناخ الرطب. ولقد تسببت العواصف الترابية التى تنشـأ فى الصحارى فى تكوين رواسب دقـيقة من الرمال ترسبت شمالا حتى وصلت إلى بريطانيا.

٩- النحات بالرياح Wind Erosion

قد لا يكون للرياح فى حـد ذاتها أى أثر فى الصخـور الصلبة، لكن الرياح العالية السـرعة تحمل معها كسـر الصخور التى تصبح أدوات فعالة لحـدوث عملية النحـات، وتؤدى الرياح عمـلها فى النحـات بطريقة الـتذرية deflation، أو عن طريق السحج abraision.

• التذرية Deflation

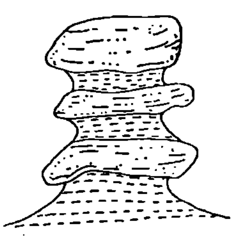
فـى المناطق القـاحلة وشـبه القاحلـة، حيث يندر الغطاء النبـاتى، تـتعرض الصـخور المفككة وجـسيـمات التـربة إلى النقل من مكان إلى آخـر بفعل هبـوب الرياح، ولقد تحـولت مناطق زراعية بهـا تربة خصبـة إلى مناطق ترابية منخفـضة تـسمى جفـان الغبار dust - bowl خلال فترات الجفاف والقحولة. وتوجد بعض الأحواض basins تحت منسوب سطح البحر بكثيـر - وخاصة فى مصر - تكونت بعملية التذرية التـى كشفت طبقات الأساس الصخرى مـكونة ما يـسمى بالواحات ooses. وبذلك يكون للرياح فعلها التدميـرى وأثرها المفيد. وتؤدى عملية التذرية بفعل الرياح إلى تكوّن معالم عديدة مميزة، ومـثال ذلك تكوّن المنخفضات الضحلة العريضة والتى تـسمح بالمنخفضات المذرّاة (blow-outs) والتى تتكون حينما يتركز أثـر الرياح بعنف على صخور رخوة غير مـتصلبة وكذلك على التربة. أما جراول التخلف lag-gravels فتـكون عندما تهب الرياح على التجمـعات الصخريـة غير

المتماسكة فتؤدى إلى تطاير الجسيمات الصخرية الدقيقة بعيدا، مخلفة الجرول وكسر الصخور الغليظة فى مكانها. وتتكون الأرصفة الصحراوية desert pavements عندما تتعرض تجمعات الجلاميد والحصى الغليظ وأجزاء من صخور حمراء اللون لعملية التذرية، مما يؤدى إلى ترابطها وتماسكها معا بشدة. مكونة سطحا ناعما قد يغطى بطبقة رقيقة من بعض أكاسيد الحديد والمنجنيز تشبه الطلاء، ومن ثم تسمى برنيقى (ورنيش) الصحراء desert varnish.

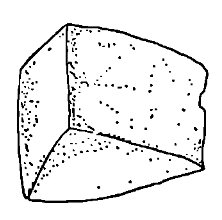
• السحج Abrasion

تتم عملية السحج حينما تحمل الرياح الرمال المفككة وجسيمات الغبار كجزء من حمولة الرياح المنقولة. وتتم عملية السحج بالرياح كعملية لفح رملى sand-blasting طبيعى. ويتمثل الفعل التدميرى للسحج بالرياح فى تآكل الأعمدة الخشبية للتليغراف وسياج المنشآت وتكوين الحفر والأخاديد فى سطوح الصخور الصلبة. كذلك فإن النوافذ التى تتعرض دائما لتأثير الرياح وما تحمله معها من رمال، قد تصبح فى نهاية الأمر منقرة pitted، أو مشرّخة أو متشظية chipped.

أما حبيبات الرمال نفسها التى تتم بواسطتها عملية السحج، فتتعرض هى أيضا لعملية الحت والبلى فتصبح هى الأخرى منقرة pitted وتقل أحجامها نتيجة لعملية الحت. وتلعب عملية السحج دورا مهما فى تكوين بعض الأشكال الأرضية، مثل تكوين الأعمدة الصخرية pedestals والموائد الصخرية table rocks التى تبدو على هيئة صخور منعزلة حدثت لها عملية نحر سفلى undercuting بفعل الرمال التى تحملها الرياح، (شكل ٨٤). بالإضافة إلى ذلك، فهناك أنواع معينة من الكهوف التى توجد على جوانب التلال والتى تؤدى عملية التحات بالرياح إلى جعلها فارغة (مفرغة) hollowed. ومن نواتج عملية تحات الرياح ما يسمى بالوجهريحيات ventifacts وهى من الظواهر الشائقة، وتتمثل فى جلاميد وحصى، صقلتها الرياح المحملة بالرمال وكوّنت فيها أخاديد grooves وأوجه faces. وتنشأ هذه الوجهريحيات حينما تهب الرياح المحملة بالرمال على أحد جوانب الحجر، فتشكله على هيئة سطح مستو (شكل ٨٥). وإذا تغير اتجاه الرياح السائدة، فقد تنشأ أوجه أخرى على الجوانب الأخرى للحجر. وإذا كان الحجر



شكل (٨٤)
عمود صخرى تكون بفعل النحات بالرياح



شكل (٨٥)
وجهريحياته حجر زاوى الشكل بفعل الريح

له وجه واحد تكون له في العادة حافة حادة واحدة وفي هذه الحالة يسمى «أحادى الوجه einkanter» وهي كلمة ألمانية معناها حرف واحد "one-edge"، وإذا كان للحجر ثلاثة وجوه three- faces، فيكون شكله مثلثيا، ويسمى ثلاثى الوجه dreikanter، وكثيرا ما تتكون في الصحراء حبيبات كروية من الرمال تسمى رمال حبة الجاَورْس (الدُّخن) millet-seed sands وهذه الرمال لا تحتوى على الميكا إذ طحنتها الرياح، وهى وسيلة مفيدة للتعرف على أصل الحجر الرملى. فالحجر الرملى الغنى بالفلسبار ولا يحتوى على الميكا فيكون من المحتمل أنه قد تكون في ظروف صحراوية قاحلة.

١٠-النقل بالرياح Transporation by Wind

تتحدد الطريقة التى تحمل بها الرياح حمولتها بشكل وحجم ووزن الجسيمات الصخرية، وكذلك بسرعة الرياح.

وتستمد المواد المنقولة بالرياح من أماكن تحتوى على كُسارة صخرية مجوّاة ومتفككة (مثل سهول الفيضان، رمال الشواطئ والرواسب الثلجية glacial deposits وكذلك قيعان البحيرات الجافة). وبالإضافة إلى ذلك فالانفجارات البركانية تنتج عنها كميات كبيرة من الرماد الخفيف أو الغبار الذى تحمله الرياح لتنقله إلى أماكن أخرى.

وتستطيع الرياح أن تنقل كميات كبيرة من المواد لمسافات بعيدة جدا. ويتدحرج بعض من هذه المواد على الأرض؛ ويسمى حمولة الطبقة bed load، ويقال إن هذه الحمولة تتحرك بالجرّ أو السَحْب traction. ويتحرك بعض الجسيمات بالوثب saltation وهى حركات تقفز فيها حبيات الرمال إلى أعلى ثم تعود إلى أسفل. وإذا كانت سرعة الرياح كبيرة بدرجة كافية، فقد تنتقل الجسيمات والحبيات كحمولة معلقة suspension مع الرياح. وتكون معظم الحمولة المعلقة على ارتفاع أقدام عديدة من سطح الأرض، بينما يحمل الغبار والجسيمات الأخف وزنا على ارتفاعات أعلى فى الرياح الأكثر سرعة والتيارات الهوائية الأشد قدرة، وقد تنقل المواد المحمولة فى المستوى العلوى للرياح إلى مسافات قد تصل إلى آلاف الأميال.

١١-الترسيب بالرياح Wind Deposition

تُرسب الرياح حمولتها عندما تقل سرعتها، أو عندما تتساقط الأمطار أو الثلوج لتغسل الهواء وتجعله نظيفا. وتقل سرعة الرياح عندما تضعف أو تضمحل أو عندما تعترض الرياح عوائق مثل الأشجار أو الأسوار. وتتسبب الرياح فى ترسيب أنواع معينة من الرواسب تعرف باسم الرواسب الريحية aeolian Deposits وتشمل:

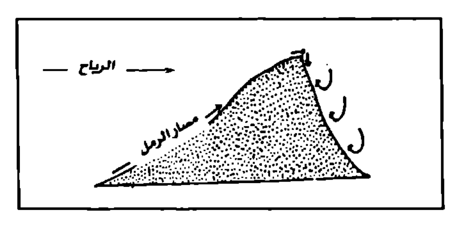
أ- الكثبان dunes.　　　　ب- الطيس (اللوس) loess.

أ-الكثبان Dunes

هى تلال أو تجمعات رملية رسبتها الرياح. وتختلف الكثبان فى أشكالها وحجومها طبقا لطبيعة الرياح المرسبة وكمية الرمال المتاحة، وكذلك كمية وتوزيع الغطاء النباتى فى المنطقة. وتتكون الكثبان فى المناطق التى تتوافر فيها كميات كافية من الرمال المفككة غير المحمية unprotected، ورياح قوية كافية لتحريك هذه الرمال. وهذا النوع من المناطق يتمثل فى الصحراوات الرملية، وسهول الفيضان الرملية والشواطئ الرملية sandy beaches على امتداد شواطئ البحار أو البحيرات. ويبدأ تكوين الكثيب عندما يعترض الرياح المحملة بالرمال عائق فيتسبب فى هبوط سرعة الرياح، وربما يكون ذلك العائق شجرة أو سياجا fence. وحينما تضعف سرعة الرياح، تبدأ كمية قليلة من رواسب حمولة

الرياح فى التـراكم على الجانـب المدابر للعـائق leeward side وباسـتمرار تراكم الرمال خلف العائق، يزداد ترسيـب الرمال، لأن الرمال المتـراكمة تصبح عائقا فى حـد ذاتها. وتســتمر هذه العمليـة إلى أن يصل ارتفاع الكثيـب إلى أقـدام عديدة. وقد يـستمر الكثيب فى نموه وارتفاعه إلى أن يصل إلى مئات الأقدام.

والكثبان التى تتكون فى أماكن تهب فيها الرياح من اتجاه واحد ثابت، تكون لهـا جانبـية profile مميزة (شكل ٨٦)، ويـكون لمثل هذه الكثـبـان انحدار طويل ولطيـف علـى الجانب المقـابل للريـح، بيـنما يكون الانحدار شـديدا وقصـيرا على الجـانـب المدابر للريح. وهـــناك علامـات غائـرة صـغـيـرة تـسمى علامـات النيم ripple marks توجد على المنحدر المواجه (المقابل) لاتجاه الريح.



شكل (٨٦)
جانبية كثيب رملى نموذجى، اتجاه الأسهم يشير إلى مسار تيارات الرياح

• هجرة الكثبان Migration of Dunes

معظم الكثبان الرمليـة لا تـستقر فى أماكنها، لكنهـا تهاجر ببطء عندما تهب الرياح، وتدفع الرمال إلى أعلى المنحدر اللطيف المواجه للريح وفوق قمة الكثيب، ومن هناك تنحـدر الرمـال أو تـسقط إلى أســفل الجانــب الشديد الانحـدار المدابر للريح. وتكرار هذه العـملية يؤدى إلى حـركة الكثيب الرملــى فى الاتجاه المدابر للريح.

وتسمى هـذه الحركـة باسم هجرة الكثبان. وبالرغم من أن هذه الحـركة قد تكون بطيئة (لا تتعدى ٢٥ قدمـا فى العام)، فإن هناك بعض الكثبان التى تحركت

أكثر من مئة قدم فى العام الواحد. وتستمر الكثبان فى هجرتها إلى أن تغطيه النباتات vegetation، التى تحمى الرمال من الرياح. وتسمى الكثبان الرملية من هذا النوع باسم الكثبان المثبتة أو الثابتة fixed or stabilized. ولقد عرفت كثبان مهاجرة تتقدم فوق الغابات والمزارع والأراضى وخطوط السكك الحديدية والقرى، وفى بعض الحالات أمكن للإنسان أن يوقف حركة الرمال بزراعة النجيل grass والشجيرات shrubs أو الأشجار وكذلك بإقامة أسوار الحماية protective fences.

• أنواع الكثبان Types of Dunes

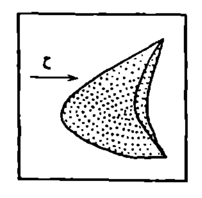
تختلف الكثبان الرملية كثيرا فى الشكل والحجم، ويتوقف ذلك على سرعة واتجاه الرياح وكمية الرمال المتاحة فى المنطقة.

• البرخان Barchans

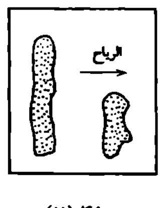
هى كثبان هلالية الشكل، تتميز بطرفين يمتدان على هيئة جناحين مقوسين فى اتجاه الريح (شكل ٨٧). ويتكون هذا النوع من الكثبان الرملية فى المناطق التى تهب منها الرياح فى اتجاه واحد ثابت.

• الكثبان المستعرضة Transverse Dunes

يتكون هذا النوع بصفة خاصة على طول سواحل البحار وشواطئ البحيرات. وتنمو الكثبان المتعرضة بحيث يكون محورها الطويل متعامدا على اتجاه الريح (شكل ٨٨). ويبلغ ارتفاع جبد الرمال فى هذا النوع من الكثبان من ١٠ إلى ١٥ قدما. وقد يصل طوله إلى نصف ميل تقريبا.



شكل (٨٧)
كثيب رملى «برخان»



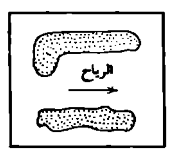
شكل (٨٨)
كثيب رملى مستعرض

•الكثبان الطولية Longitudinal Dunes

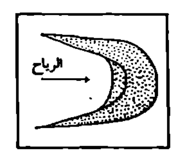
يسمى الكثيب الرملى الذى يكون موازيا لاتجاه الريح باسم الكثيب الطولى (شكل ٨٩). والكثبان السيفية Seif هى نوع خاص من الكثبان الطولية، وتشبه فى شكلها السيف العربى، وقد يصل ارتفاع الواحد منها إلى ٧٠٠ قدم، ويصل طوله إلى ٦٠٠ قدم. ويتحد بعضها ببعض لتكوّن مجموعات تسمى الحيود Ridges التى تمتد أميالا عديدة عبر المناطق التى توجد فيها.

•الكثبان الإهليلجية Parabolic Dunes

هى الكثبان التى لها شكل حرفU وتشبه البرخان، ومع ذلك فإن الطرف المستدق للكثيب الإهليلجى يشير إلى اتجاه الريح، بينما فى البرخان، يشير الطرف المستدق إلى أسفل الريح (شكل ٩٠).



شكل (٨٩)
كثبان رملية طولية



شكل (٩٠)
كثيب رملى هلالى

ب- الطيس Loess

الجسيمات الصخرية الدقيقة التى تحملها الرياح تتراكم أحيانا وتكون رواسب من الغبار تسمى رواسب الطيس(اللوس) loess. وتكون فى العادة ذات لون أصفر ودقيقة التحبب وغير متطبقة non-stratified وتتكون رواسب الطيس من كسر صغيرة حادة الزوايا من مجموعة من المعادن. وتستمد هذه المعادن من الغبار السطحى المنقول من الصحراء وسهول فيضانات الأنهار ورواسب الاكتساح الثلجى والدلتات. وتتميز رواسب الطيس بأنها لصيقة cohesive ولها قدرة على تكوين

جروف وعرة شديدة الانحدار أو ذات أسطح رأسية. ورواسب اللوس معروفة بقدرتها على تكوين تربة خصبة ذات نسيج صخرى دقيق ولونها مائل إلى الاصفرار ولهذه التربة أهمية زراعية كبيرة فى المناطق التى تسقط فيها الأمطار.

وفى نهاية العصر الجليدى ترسب حزام من رواسب الطين امتد من فرنسا حتى الصين، ويظهر هذا الحزام فى فرنسا على هيئة رواسب قليلة الثخانة من مواد مثلجية، ثم تبدأ ثخانته فى الازدياد بثبات عبر روسيا إلى أن يصل إلى أقصى ثخانة له فى الصين، حيث يتكون من مواد مستمدة من الصحراء.

١٢- الحركة الكتلية للصخور والتربة Mass Movement of Rocks and Soil

تحدث الحركة الكتلية mass movement عندما تتحرك المواد الأرضية إلى أسفل المنحدرات بفعل قوة الجاذبية. ويحدث هذا النوع من التحات فى أى منطقة ذات انحدار شديد بدرجة تكفى لتحرك الركام الصخرى إلى أسفل. ومن المعلوم أن كل سطوح الأرض تكون لها درجة معينة من الانحدار، وقدرة المنحدر على مقاومة الجاذبية تتوقف أكثر ما يمكن على القدرة التماسكية للمواد الأرضية المكونة للمنحدر.

وفيما يلى مناقشة لبعض العوامل الأخرى التى تساعد الجاذبية فى التغلب على مقاومة المنحدر لتحرك الصخور والحطام الصخرى إلى أسفل:

• المياه Water

على الرغم من أن الحركة الكتلية قد تحدث لمواد جافة أو رطبة، إلا أن الماء يساعد كثيرا على حركة الحطام الصخرى إلى أسفل. ويؤثر الماء فى الصخور الصلصالية مما يجعلها زلقة slippery؛ والرطوبة تزيد من وزن الكتل الصخرية وتدفع جسيمات الصخر إلى الانفصال بعضها عن بعض، ومن ثم تتناقص درجة تماسك التربة soil cohesion.

• التجمد والانصهار Freezing and Thawing

حينما يتجمد الماء الموجود فى فراغات الصخر والتربة، فإنه يتمدد، وتتفكك المواد الصخرية نتيجة للتجمد والانصهار المتبادل. وفى بعض الأحوال

يكون الثلج المتـمدد كافـيا لكى يدفع الصخـور إلى أسفل المنحـدر. وتحدث هذه الظاهرة ويظهر أثرها فى المناطق العـالية حيث يحدث التجمـد والانصهار كل يوم تقريبا.

• التقويض السفلى Undercutting

يؤدى التقويض السفلـى بفعل الأنهار وكـذلك ما يفعله الإنسـان من عمليات الحَفْر إلى إزالة الدعامـات ومـن ثم سقـوط المواد إلى أسفل.

• النشاط العضوى Organic Activity

تدفع الحيوانات التى تسـير على سطح الأرض (مثل الغزلان أو الماشـية) المواد الصخـرية لتسقط أسفل المنحـدرات، وكذلك تفعل الحـيوانات الحفارة مـا يسبب تكوين الحـفر والفـجوات بإخـراج كـسـارة الصخـور والتربة وإلقـائها عنـد أقدام المنحدرات.

• موجات الارتطام Shock Waves

تسـبب الذبذبات العنيفة التى تنشـأ عن التصدع والتفـجير، وكذلك كـثرة المرور الثقيل heavy traffic فى إحداث إجـهاد stress على المواد الصـخرية، مما يؤدى إلى حركتها إلى أسفل المنحـدر، ومثال ذلك ما حدث فى المتنزه القومى فى يلوسـتون Yellowstone National Park فى أمـيركا فى أغسـطس ١٩٥٩ حيـنما حدث انزلاق أرضى من أثر زلزال حدث فى المنطقة.

وقد تحـدث الحركـة الكتلية فـجأة وبعنف، كـما هو الحال فـى الانزلاقات الأرضـية، أو فى حالات زحف التربة soil creep. ولنناقش الآن الأشكال المختلفة للحركة الكتلية للصخور سواء منها الحركات السـريعة أو البطيئة.

١٣- الحركات السريعة Rapid Movements

تحـدث معظـم الحركات الســريعة لمواد الأرض نتـيجة للقوى التـى تعمـل بالتـدريج علـى إضعـاف الوشـاح الصخرى على مـدى زمنى طويـل. وهنـاك أمثلة شائعة للحركات السـريعة مثل:

• ركام السفوح Scree

يتكون ركام السـفوح من كسـارة الصخـور المجواة التى تتجـمع عند أقـدام الجبال أو الجروف. ويتراكـم هذا الركام بالتدريج عندما تنفصل جـيمـات الصخـر مـن وجـه الجـرف وتتدحرج إلى أسفل.

• الانزلاقات الأرضية Landslides

تعد الانزلاقـات الأرضيـة أعنف وأوضح أنواع الحركـة الكتلية للصـخور. وتتميز الانزلاقات الأرضية بأنها حركات فجائية لكميات كبيرة من الصخور والتربة تندفع إلى أسفل. وتحدث مثل هذه التحركات على الأسطح الشديدة الانحدار التى تراكم فوقـها صخور مجواة. ويتـغلغل ماء المطـر أو الماء الناتج عن ذوبان الثلوج فى داخل كتلة الحطام الصخرى الموجود على سطح شديد الانحدار، فيضـيف وزنا كافيا لجعل الكتلة تتحرك بأكملها وتنزلق إلى أسفل. ومن أمثلة الحركات السريعة، الانهيار الثلجى avalanches الذى تتحرك فيه الثلوج مع جزء من التربة والصخور. وتعد الانزلاقات الصخرية rock slides من أنواع الانزلاقات الأرضـية المدمرة، إذ يحدث فيها تحرك الأسـاس الصـخرى وكذلك الوشاح الصخرى فى آن واحد.

• تدهور الصخور Slump

يحدث هذا النوع مـن الانزلاقات الأرضـية عندما تتحـرك الكتل الضخـمة للمنحدر إلى أسفل وكذلك إلى الخـارج (تتخلع) بفعل شد الجاذبية gravitational pull. وتحدث مثل هذه الحركات فى المواد غير المتصلبة نتيجة للتقويض من أسفل under cutting أو نتيجـة لازدياد درجة انحدار المنحدر إلى الحـد الذى لا يـستطيع أن يتـحمل وزنه. وتحـدث ظاهرة التـدهور على طول ضفـاف الأنهار أو جـدران الوديان المنحدرة.

وهناك العديد من الانزلاقات الأرضـية المدمرة التى لا يزال يتذكرها الأحياء، مثل الكارثة التى حدثت فى ألبرتا Alberta بكندا فى عام ١٩٠٣، حينما انفصلت فجـأة كتلة صخرية تقـدر بحوالى ٤٠ مليون ياردة مكـعبة من واجهـة جبل ترتل Turtle Mountain وهبطت فوق مدينة فرانك (وهى مدينة صـغيرة قريبة من منجم

فحم) واندفعت هذه الكتلة الصخرية لمسافة ميلين وأربعمئة قدم من الجانب الآخر وقد كان مجمل زمن الحركة أقل من دقيقتين، وفقد سبعون من سكان بلدة فرانك أرواحهم في هذه الفترة الزمنية القصيرة. وقد ينشأ تدهور الصخور بسبب إهمال الإنسان مثلما حدث في كارثة أبرفان Aberfan عام ١٩٦٦ حيث حطم كوم من الخبث slag - heap مدرسة ومات العديد من الطلاب. وقد تنشأ الانزلاقات الأرضية عندما يقوم الإنسان بإنشاء الجسور ·

•انسياب الطين Mud flow

عندما تختلط كتل صخرية كبيرة وتربة بالماء يصير قوام هذا الخليط مثل الطين ويمكن أن يحدث له انسياب · ويحدث هذا النوع من الانسياب في بعض المناطق القاحلة والمناطق الجبلية شبه القاحلة، التي تتعرض لأمطار غزيرة بشكل غير عادي. وكقاعدة عامة، فإن هذا الانسياب ينشأ في الأخاديد ذات الجدران المنحدرة بشدة، ويتخذ انسياب الطين مجرى له إلى أسفل الوادي وقد يسبب دمارا كبيرا للأشياء التي تعترض مساره.

•انسياب التراب Earthflow

يختلف انسياب التراب عن انسياب الطين من حيث كمية الماء التي يحتويها. وينساب التراب عادة ببطء أكبر من انسياب الكتل الطينية المائعة.

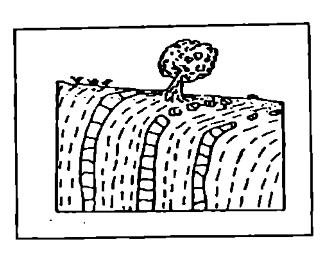
١٤-الحركات البطيئة Slow Movements

بالرغم من أن الحركات البطيئة تفتقر إلى عنصر المفاجأة، إلا أن النتائج الجيولوجية النهائية لها، قد تكون أكبر من تلك التي تسببها الحركات السريعة.

•زحف التربة Soil Creep

تؤدي الجاذبية إلى حركة المواد الصخرية إلى أسفل عن طريق زحف التربة، وهذه الحركة بطيئة للغاية وتحدث عادة على المنحدرات الرطبة والتي لا تكون منحدرة بشدة لدرجة تسمح بحدوث الانزلاقات الأرضية. وعندما يتحرك الوشاح الصخري ببطء إلى أسفل، فقد يتسبب في إمالة الأشجار وتحريك الأسوار من

الصخرى ببطء إلى أسفل، فقد يتسبب فى إمالة الأشجار وتحريك الأسوار من مكانها وتحريف الطبقات الصخرية (شكل ٩٠). وقد تتزايد سرعة زحف التربة بفعل الصقيع، نتيجة للتجمد والانصهار التبادلى، وكذلك نتيجة لفعل بعض النباتات والحيوانات.



شكل (٩٠)
زحف التربة
(لاحظ تحرك الطبقات لأسفل وإمالة الأشجار)

• سيلان التربة Solifluction

هى حركة إلى أسفل تميز المناطق التى تتجمد فيها الأرض لأعماق ملحوظة. ويحدث سيلان التربة عندما يذوب الجزء العلوى للوشاح الصخرى ويصبح مشبعا بالماء. بينما الجزء الذى تحته والذى لا يزال متجمدا يعمل كسطح انزلاقى للجزء المشبع بالماء من الوشاح الصخرى فيتحرك هذا إلى أسفل، حتى لو كان الانحدار لطيفا وبسيطا. ويعد سيلان التربة ظاهرة مميزة فى المناطق المتجمدة وشبه المتجمدة ومناطق الجبال العالية.

الفصل التاسع

المحيطات والخطوط الساحلية

OCEANS AND SHORELINES

تغطى محيطات العالم ما يقرب من ٧١ ٪ من سطح الأرض، وترسب فى البحار أغلب التربة التى تجرف من سطح الأرض نتيجة لعمليات التحات. وبالإضافة إلى الأهمية الكبيرة للمحيطات من الناحية الجيولوجية فإن لها فوائد كثيرة للإنسان، فهو يستخدمها طرقًا للتجارة، بالإضافة إلى أنها المسئولة عن تنظيم المناخ، وتعد أيضا المصدر الأول للماء. وتبلغ مساحة سطح المحيطات ما يقرب من ١٥٠ مليون ميل مربع (٤٠٠ مليون كم^٢^). وتغطى المحيطات ٨١٪ من سطح نصف الكرة الجنوبى، كما أنها تغطى ٦١٪ من سطح نصف الكرة الشمالى. والمحيطات أجسام مائية متصلة وعلى ذلك فإن أية سفينة تستطيع أن تبحر من أى محيط إلى المحيطات الأخرى. وتشمل المحيطات الخلجان المتصلة بها سواء منها الكبيرة أو الصغيرة، وهكذا فالبحر الأبيض المتوسط يعد هو والبحر البلطيقى أجزاءً من المحيط الأطلنطى.

١- تقسيم المحيطات Division of Oceans

يميز الجغرافيون وجود خمسة محيطات هى المحيط الهادى والمحيط الأطلنطى والمحيط الهندى والمحيط المتجمد الشمالى والمحيط المتجمد الجنوبى. ويعد المحيط الهادى أكبر المحيطات وأعمقها، ويمثل $\frac{3}{8}$ المساحة الكلية للمياه تقريبا. ويقع أعرض جزء من هذا المحيط عند خط الاستواء ويبلغ عشرة آلاف ميل (١٦ ألف كيلو متر تقريبا) والمحيط الأطلنطى هو الثانى فى ترتيب المحيطات من حيث المساحة، ويشكل ربع المساحة الكلية للمحيطات، ويتردد عرضه بين

٢٠٠٠ و ٤٢٠٠ ميل (أى ٣٢٠٠-٦٧٠٠ كم). وثالث المحيطات من حيث المساحة هو المحيط الهندى، ويبلغ قطره حوالى ٦٠٠٠ ميل (٩٦٠٠ كيلو متر تقريبا) وهو يشكل $\frac{١}{٨}$ (ثمن) المساحة الكلية للمياه. ويعد المحيط المتجمد الشمالى امتدادا للمحيط الأطلنطى ويتردد عرضه بين ١٥٠٠ و ٣٠٠٠ ميل (٢٤٠٠-٤٨٠٠ كيلو متر)، ويشكل $\frac{١}{٣٠}$ من المساحة الكلية للمياه، وتغطى سطح المحيط المتجمد الشمالى طبقة من الجليد سمكها يتردد بين ٨ و ١٠ أقدام، تظل متجمدة معظم العام. أما المحيط المتجمد الجنوبى فيمثل القدر المتبقى من مياه المحيطات وهو يحيط بالكتلة البرّية حول القطب الجنوبى والمسماة بالقارة القطبية الجنوبية Antarctica.

٢- عمق المحيطات Depth of the Oceons

كما أشرنا من قبل، فإن المحيط الهادى يعد أعمق المحيطات، إذ يبلغ عمق مياهه ١٤ ألف قدم (حوالى ٤٣٠٠ متر). وأعمق جزء فيه هو منطقة ماريانا Mariana، التى تقع غرب المحيط الهادى ويبلغ العمق عندها ٣٥٨٠٠ قدم. ويأتى المحيط الهندى فى المرتبة الثانية من ناحية العمق، ويبلغ متوسط عمقه ١٣ ألف قدم تقريبا، فى حين أن متوسط العمق فى المحيط الأطلنطى يبلغ ١٢٨٠٠ قدم تقريبا، ويبلغ متوسط عمق المحيط المتجمد الشمالى ٤٠٠٠ قدم مما يجعله ضحلا بالنسبة للمحيطات الأخرى.

وأغوار المحيطات هى الأماكن التى يزيد عمق الماء فيها على ١٨ ألف قدم، ويوجد ٥٧ مكانا من هذا النوع فى المحيطات، ويشمل المحيط الهادى منطقة ماريانا التى تقع بالقرب من جزيرة جوام Guam وهناك أيضا غور سواير Swire Deep أو وهدة الفلبين Philippine Trough (٣٥٤٣٠ قدم) الذى يقع فى شمال شرق جزيرة منداناو Mindanao. ويبلغ أعمق مكان فى المحيط الأطلنطى ٢٩ ألف قدم (أى قدر ارتفاع قمة جبل إفرست Everest). ويقع فى غور ملووكى Milwaukee أو وهدة بورتوريكو Puerto Rico Trough شمال بورتوريكو مباشرة.

والعمق فى المحيطات يفوق الارتفاع فى سطح الأرض، ومما يثبت ذلك أن متوسط العمق فى البحار يبلغ ١٣٠٠٠ قدم (حوالى ٢,٥ ميل) بينما يبلغ متوسط الارتفاع على سطح الأرض ٢٦٠٠ قدما (أى حوالى ميل واحد). وهذا يعنى ببساطة أنه إذا افترضنا أن القارات قد تعرضت لعمليات التحات، وألقيت المواد التى نتجت عن التحات فى المحيطات، فسوف تظل الأرض مغطاة ببحر عالمى كبير متوسط عمق الماء فيه ميلين.

٣- تركيب مياه المحيط Composition of Ocean Water

تحتوى مياه المحيط على كميات هائلة من الغازات الذائبة؛ مثل الأكسجين والنتروجين وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة إلى مواد معدنية أخرى، وتشمل المواد الصلبة الذائبة فى مياه البحار حسب النسب المئوية لوجودها ،كذلك رموزها الكيمائية ما يأتى:

كلوريد الصوديوم	$NaCl$	٪٧٧,٧٦
كلوريد المغنسيوم	$MgCl_2$	٪١٠,٨٦
كبريتات المغنسيوم	$MgSO_4$	٪٤,٧٤
كبريتات الكالسيوم	$CaSO_4$	٪٣,٦٠
كبريتات البوتاسيوم	K_2SO_4	٪٢,٤٦
كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$	٪٠,٣٤
بروميد المغنسيوم	$MgBr_2$	٪٠,٢٢

ومن الواضح أن المواد الصلبة الموجودة فى مياه المحيطات هى الأملاح، ويكوّن كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) ٧٥ ٪ من إجمالى المواد الصلبة الذائبة فى مياه المحيطات. ولكن من أين تأتى هذه الأملاح؟

يأتى الجزء الأكبر من هذه الأملاح من عملية غسل التربة والصخور، ثم نقل الأملاح الذائبة عن طريق الأنهار. وقد تختلف نسبة الأملاح التى تحتويها مياه المحيط من منطقة لأخرى. فمثلا، قد تحتوى مياه المحيط على نسبة أكبر من

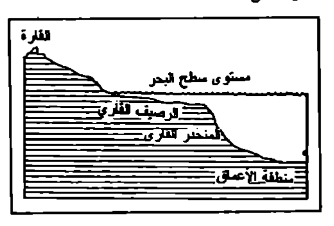
الأملاح فى المناطق التى يحدث فيها تبخُّر بدرجة كبيرة، وتنخفض نسبة الأملاح فى المحيطات فى الأماكن الباردة أو الأماكن التى تتعرض لأمطار غزيرة، وكذلك فى الأماكن التى تلتقى عندها الأنهار والبحار.

٤-الحياة فى المحيط Life in Ocean

يَمُوج البحر بأعداد لا تحصى من النباتات والحيوانات. وهذه الكائنات إما أن تكون طافية أو سابحة أو زاحفة، أو تحفر لها أماكن فى أرضيات المحيطات. وهناك أيضا بعض النباتات والأعشاب التى تفرز الكالسيوم وكذلك المراجين التى تبنى لها هياكل جيرية كبيرة تسمى الشعاب reefs. وتوجد أغلب الحياة البحرية فى الأماكن الضحلة التى تقع عند حافات البحار على سواحل القارات فيما يطلق عليه اسم البحار فوق القارية epicontinental seas. ومعظم التكاوين الصخرية المحتوية على حفريات ترسبت فى بحار مماثلة فى أزمنة ما قبل التاريخ.

٥-أرضية المحيط The Ocean Floor

توجد بأرضية المحيط سلاسل جبلية وهضاب ومعالم طوبوغرافية بارزة تشبه تلك التى توجد على سطح الأرض. لكن الطوبوغرافيا الموجودة تحت الماء تعتبر أقل وعورة rugged من طوبوغرافيا سطح الأرض بشكل عام. وتنقسم أرضية المحيط إلى ثلاثة أجزاء: الرف القارى والمنحدر القارى والمنطقة السحيقة التى تكوِّن أرضية المحيط العميقة. (انظر شكل ٩٢).



شكل (٩٢)
الأقسام الأساسية لأرضية المحيط

• الرف القارى Continental Shelf

يطلق اسم الرف القارى على الأجزاء الحافية المنبسطة للقارات والتى تغطيها مياه البحار. وتنحدر الرفوف القارية من سواحل القارات تدريجيا متجهة نحو المحيط. ويبلغ متوسط عرض الرف القارى ٤٠ ميلا تقريبا. ويبلغ متوسط عمق الماء فيه ٤٠٠ قدم.

• المنحدر القارى Continental Slope

عند الحروف الخارجية للرف القارى، تزداد درجة انحدار أرضية البحر بشدة، حتى أن انحدار بعضها يزيد على ٣٠٠٠ قدم فى مساحة صغيرة نسبيا. ويحدث ذلك فى الأماكن العميقة من المحيط. وتوجد أخاديد بحرية عميقة deep submarine canyons فى بعض الأماكن على أرضيات المنحدرات القارية والرفوف القارية، وأحد هذه الأخاديد هو أخدود هدسون تحت البحرى Hudson Submarine Canyon، الذى يبلغ عمقه ٢٤٠٠ قدم وعرضه حوالى ثلاثة أميال وطوله ١٢٥ ميلا. ويبدو هذا الأخدود وكأنه امتداد لوادى نهر هدسون.

وهناك أخاديد أخرى ليست امتدادا لوديان الأنهار، وأصل تكوين هذه الأخاديد ليس معروفا بالضبط. ويعتقد بعض العلماء أن هذه الأخاديد تكونت بفعل تحركات الأرض تحت الماء والتحات الناتج عن المد والجزر، وكذلك التغير فى منسوب سطح البحر خلال الفترات الجليدية، وتيارات التعكير (أو الماء المحمل بالطين والمتحرك بسبب كثافته العالية بسرعة تختلف عما يجاوره).

• أرضية البحار العميقة أو المنطقة السحيقة Deep-Sea Floor or Abyssal Zone

هى ذلك الجزء من أرضية المحيط الذى يمتد من قاعدة المنحدر القارى إلى البحر، ويطلق عليه أرضية البحار العميقة أو المنطقة السحيقة.

ويلاحظ أن أرضية المحيط ليست منبسطة، لكن توجد بها سلاسل جبلية، وقمم بركانية، ووديان، وأحواض عميقة. وتتميز أرضية قاع المحيط بما يلى:

- السهول السحيقة Abyssal Plains

هى مناطق منبسطة وكبيرة يزداد عمقها بالتدريج بواقع خمسة أقدام لكل ميل تقريبا.

- أخاديد البحار العميقة Deep-Sea Trenches

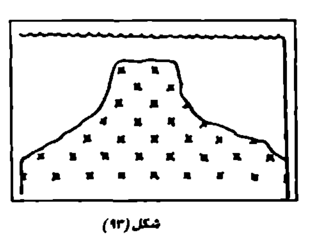
يطلق عليها أيضا اسم أغوار المحيط، وهى أحواض ضيقة ومستطيلة، توجد على قاع البحر، ويوجد الكثير منها عند سفح المنحدر القارى وبالرغم من أن أصلها غير معروف، إلا أنها قد تصاحب التصدع تحت البحرى submarine faulting.

- جبال البحر Sea mounts

هى مرتفعات منعزلة تشبه الجبال، ويبلغ ارتفاعها عادة ٣٠٠ قدم، وقد توجد هذه الجبال على الخيود الوسطى (مرتفعات ضيقة شديدة انحدار الجوانب تبرز من أرضية المحيط). وقد توجد أيضا على أرضية المحيط العميقة نفسها.

- الجيوتات Guyots

هى تلال ذات قمم منبسطة (انظر شكل ٩٣)، ترتفع من قاع المحيط ويغطيها فى العادة من ٣٠٠٠-٦٠٠٠ قدم من الماء. ويعتقد أن جيوتات المحيط الهادى المشهورة هى براكين مغمورة بالماء submerged volcanoes كشطتها حركة الأمواج.



شكل (٩٣)
«جيوت»
- يوجد على عمق من ٣٠٠٠-٦٠٠٠ قدم تحت الماء

٦-حركات البحر Movements of the Sea

يمكن لأى شخص يشاهد الحركة الدائمة القلقة لأمواج البحر، أن يفهم مدى فعل البحر وأثره كعامل جيولوجى. فالمد والجزر والتيارات والأمواج والأنماط

الرئيسية من تحركات مياه المحيط، تعمل دائما على تغير شكل الصخور التى توجد بالقرب من الشاطئ.

وأسباب حركة البحر التى لا تهدأ، متنوعة ومعقدة، لكنها ترجع بالدرجة الأولى إلى المد والجزر والرياح وتغير كثافة مياه البحر وكذلك حركة دوران الأرض.

• المد والجزر Tides

يسبب المد والجزر ارتفاع وانخفاض المياه فى البحار على فترات (مرة كل ١٢ ساعة و ٢٦ دقيقة)، فالمد يتسبب فى ارتفاع منسوب مياه المحيط تدريجيا، حتى يبلغ المد مداه بعد ٦ ساعات و ١٣ دقيقة، ثم تبدأ المياه فى التراجع ببطء على نفس المدى الزمنى، وأثر المد والجزر ضئيل فى البحار المفتوحة، والفرق بين المد والجزر يبلغ قدمين، ويسمى هذا الفرق بمدى المد tidal range. لكن مدى المد يزداد زيادة كبيرة بالقرب من الساحل، فقد يتردد بين قدمين (أو أقل قليلا) فى البحر المتوسط وثلاثين قدما فى ممرات المياه الضيقة، كما هو الحال فى إقليم مرسى Mersey وقناة برستول Bristol، فى إنجلترا، حيث يبلغ المد فى فصل الربيع أكثر من أربعين قدما فى الارتفاع. وتوجد أماكن أخرى فى العالم يبلغ ارتفاع المد فيها ٥٠ قدما. ويعزى السبب فى الارتفاعات المدية الكبيرة فى قناة برستول إلى الارتفاع المفاجئ فى المد tidal bore وهو عبارة عن جدار من الماء يتقدم بقوة، وينتج من دخول المد فى خلجان صغيرة وعند مصبات الأنهار.

ويختلف مدى المد حسب أطوار القمر وبعده عن الأرض. ومن العوامل التى تؤثر فى مدى المد، نوعية الخط الساحلى والتضاريس الطبيعية لأرضية المحيط. وتنشأ حركة المد والجزر نتيجة لتأثير جاذبية القمر للمياه التى توجد على سطح الأرض، كذلك فإن قوة جذب الشمس تؤدى إلى ارتفاع المد أيضا. بالإضافة إلى أن القوى الطاردة المركزية الناشئة عن دوران الأرض تساعد على زيادة أثر القوى الآتية من الشمس والقمر على عملية المد.

• التيارات Currents

تسمى التحركات المحدودة لكتل من مياه البحر باسم تيارات المحيط، وتنتج عن فعل الرياح أو المد والجزر أو الاختلاف فى درجة تركيز الأملاح، وكذلك تنتج

عن حـركة دوران الأرض ونـسـبـة تركـيز المـاء العكر والماء المحـمل بالطمى، هذا بالإضـافة إلى أن التـغيرات التى تطرأ على كثـافة الماء بـسـبب تغيـرات درجة الحرارة تـسبب حدوث التيارات المائية أيضا.

ومن التيـارات المائية المهمـة، تيار الخليج Gulf Stream والذى يعرف باسـم انجراف شـمال الأطلنطى North Atlantic Drift عندما يصل تأثيـره إلى الـسواحل الشمالية والغربية لأوربا. وتيار الخليج هو المسئول عن فـصول الشتاء المعتدلة نسـبيا ببريطانيـا، وهو الذى يجلب معه الفونة الغنيـة ويشجعها عـلى الاقتراب من هذه الشـواطـئ. وبالإضـافة إلى تـيارات المحيط، فـهناك أنواع من التـيارات الـساحـلية القاصرة على المنـاطق الـساحلية، وتشمل تيار الـسحب الـسفلى undertow، وهو تيار مـائى يتجه نحـو البحر تحت الموجات الوافـدة نحو الشاطئ. وكـذلك تيارات القَطْع rip currents (وتنشـأ بـسبب الماء العـائد إلى المحـيط)، وهو من التيـارات الـسريعـة الملاصقة والموازية لخط الـساحل، وأيضا تيارات الـسواحل الطويلة long shore currents التى تنـشـأ عن الموجـات التـى تضـرب الشـاطئ بزاوية مـائلة، وتؤدى إلى خلق تيارات مـوازية لخط الشاطئ. ولتـيارات الـسواحل الطويلة أهمـية كبيرة فى تشكيل خطوط الـسواحل.

•الأمواج Waves

تنشأ الأمواج نتـيجة لاحتكاك الرياح مع سطح الماء، وهى عبـارة عن حركة الماء الرأسيـة من أعلى إلى أسفل. ويتـحرك سطح الماء بفـعل حركـة الأمواج وفى الاتجاه الذى تهب فـيه الرياح. وتتكون كاسـرات الأمواج breakers عندما تدخل الموجة إلى المياه الضحلة بالقرب من الشـاطئ. ويؤخر قاع المحيط الجزء الـسفلى من الموجة، فى حـين أن جزءها العلوى يكون له قـصور ذاتى هائل، مما يـسـبب شدة اندفاع الموجة ثم كـسرها.

وتختلف الأمواج كثيـرا فى حجومها، فمنها الأمواج الصغـيرة التى يحركها نـسيم خـفيف، ومنها الأمـواج الضخمـة التى قد يبلغ ارتفاع الموجـة منها من ٢٥ إلى ٥٠ قدما، وتنشأ بسبب العواصف. وقد تنشـأ أضرار مادية جسيمة من الأمواج الضخمـة العالية، وذلك عندمـا تندفع الأمواج عبر الأراضى المنخـفضـة التى تقع على الـساحل. كذلك تنشأ الأمواج الجبارة نتيجة للزلازل التى تحدث أحيانا فى قاع

المحيط. وتعد هذه الأمواج المعروفة باسم التسونامى Tsunami من أضخم أمواج المحيط وأكثرها قدرة على التدمير، وسوف نتناول هذا النوع من الأمواج بالدرس فى الفصل الحادى عشر.

والعمل الجيولوجى للبحر يشبه العمل الجيولوجى للماء والثالج والرياح. فالبحر يؤدى دوره فى النحات والنقل والترسيب وذلك عن طريق الأمواج والتيارات المسببة للأمواج وقد يكون تأثيرها على خط الساحل واضحا وجليا.

٧- النحات البحرى Marine Erosion

عندما تهاجم الأمواج الشواطئ فإنها تسبب نحاتا فيها عن طريق مجموعة من العمليات المترابطة. ويعتمد مدى تأثير الشاطئ وتآكله ومقاومته على نوعية وطبيعة صخور الشاطئ. وكذلك على عنف الأمواج. وفى حالات نادرة، لاحظ أصحاب المنازل القريبة من الشاطئ والتى تحيط بمنازلهم حدائق جميلة، أن مساحة حدائقهم تتضاءل فى كل عام، وأن منازلهم ذاتها تتحطم بالتدريج وتنزلق فى الماء.

• عمليات النحات البحرى Processes of Marine Erosion

يحدث النحات بفعل الأمواج بطرق عديدة، مثل التحطيم نتيجة للفعل الهدروليكى للماء، عندما تضرب الأمواج العاتية رسوبيات رخوة ضعيفة التصلب أو الصخور المتفصلة. كذلك قد يتعرض الساحل لعملية السحج abrasion، حينما تحمل الأمواج والتيارات الشديدة فتات الصخور، التى تطحن بعض صخور الشاطئ وتهدمها. وعندما تكون الصخور المنكشفة للشاطئ من الحجر الجيرى، فإنها تتأثر بالذوبان والتفتت بفعل الأمواج.

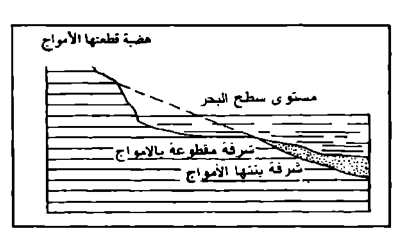
• المظاهر التى تنتج عن النحات البحرى Features Formed by Marine Erosion

تتكون كثير من المظاهر الطبيعية الخلابة على السواحل، نتيجة لعملية النحات الموجى، وبعض هذه المظاهر هى:

• جروف البحر Sea Cliffs

تسمى جروف البحر أحيانا باسم جروف قطع الأمواج (شكل ٩٤). ويتكون جرف البحر من تكهف الصخور المعلقة، بعد أن تكون الصخور التى تحت

قد تم نحاتها بواسطة الأمواج. ويكون الجرف عموديا وهو من الأشكال المألوفة. ومن أشهر الأمثلة جروف دوفر العمودية الطباشيرية البيضاء. وهناك أيضا جروف أسنان المنشار saw-tooth cliffs التى توجد حول خليج أستراليا العظيم Great Australian Bight، ويبلغ طول الجروف ٧٢٠ ميلا، وتعد أطول امتداد متصل لجروف بحرية فى العالم.



شكل (٩٤)
مظاهر متكونة بالنحات البحرى والترسيب

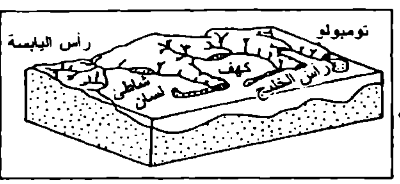
• منصات قطعتها الموج Wave-Cut Benches

هى بنيات تشبه المنصات المنبسطة نسبيا، وتمتد من قاعدة الجرف فى اتجاه البحر، وتسمى أيضا شرفات قطعتها الأمواج (شكل ٩٤). وتعد هذه المنصات من المعالم المميزة لساحل يوركشير بين ويتباى Whitby وخليج روبين هود ببريطانيا. وتوجد معالم أخرى على هذه الشواطئ مشابهة لقواعد المنصات pedestals التى ذكرت فى الفصل الثامن. وفى هذه الأماكن نجد أن طبقات الطفلة الدكناء dark shale قد تلاشت وخلفت رؤوسا من مواد أكثر صلابة، تنتصب فى هيئة أشكال عش الغراب.

• الرؤوس البرية Headlines or Promontories

هى بروزات تشبه أصابع اليد، تتكون من صخور ذات درجة مقاومة عالية، تمتد فى البحر (شكل ٩٥). ومن أمثلة الرؤوس البرية، التكاوين الطباشيرية الصلبة فى كلفردون Culver Down على جزيرة وايت Wight، التى تكون منصة من

أرض مرتفـعة تقع بين خليـج الجرف الأبيض Whitecliff Bay وخليج سـاندون Sandown، حـيـث حـدثت عملـية النـحـات فى الجـروف الأحدث للـصخـور الإيوسينيـة، بينما حدث النـحات فى صخـور الدور الطباشـيرى فى منطقة خليج سـاندون. وتـسمى التعرجـات المائية التى توجد بين هذه الرؤوس البـرية بالشروم Coves كتلك الموجودة فى دورسـت بإنجلترا.



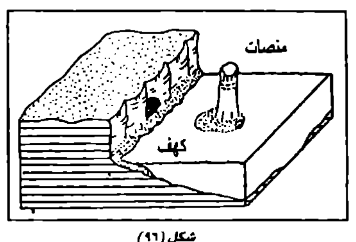
شكل (٩٥)
مظاهر خط الشاطئ التى يكونها النحات البحرى والترسيب

• الكهوف والأقواس والقوائم البحرية Sea Caves , Sea Arches and Stacks

تنشأ الكهوف البحرية عن الحركة الدائبـة للأمواج، نتيجة لفعل الأمواج فى تفريغ الجرف البـحرى من الداخل. ومن الأمثلة الجيدة التى يمكن مـشـاهدتها تلك الموجودة عند «رأس فلامبورو» Flamborough Head فى يوركشـيـر، حيث يظهر الشـاطئ نوعـية خاصـة من النحـات تـسمى «فجـوات المحاليل solution hollows» وهنا تؤثر المحاليل كيميـائيا على الشـاطئ المقطوع بالأمواج wave cut والمكون من الطباشـير، ويؤدى ذلك إلى تكوين ثقوب وفجوات. وقد تخترق الأمواج تماما رأسـا من هذه الرؤوس البحرية، فـتشكل أقواسا بحرية. وإذا انهار القـوس فإن الصخور المتبقيـة عند الرأس تنفصل لتكون قوائم بحرية stacks، والمثال الواضح على ذلك يمكن مشاهدته فى جزيرة وايت Wight (انظر شكل ٩٦).

٨- النقل البحرى Marine Transportaion

ليـست الأمواج والتيارات المائية هى أهم عوامل النحات الرئيـسية فقط، لكنها أيضا عامل مـهم من عوامل النقل، فالتـيارات التحـتـسطحية undertow وكذلك



شكل (٩٦)
مظاهر ساحلية تكونت بالنحات البحرى

التيارات العنيفة المتدفقة rip curreuts، تحمل جسيمات الصخور إلى البحر، حيث تلتقطها التيارات الساحلية، وتنقلها إلى مناطق أكثر عمقا. وهذه المواد المنقولة إما أن تكون فى صورة مذابة أو معلقة suspension وتجرفها التيارات البحرية إلى مسافات طويلة، حيث يتم ترسيبها فى أماكن بعيدة عن الساحل. وهناك تتعرض لمزيد من عمليات النحات، فتصبح جسيمات الصخور المفتتة والمنقولة أكثر استدارة وأقل حجما.

٩- الترسيب البحرى Marine Deposition

عندما تنخفض سرعة الأمواج والتيارات البحرية، فإنها ترسب حمولتها. وبالإضافة إلى ذلك فإن الأمواج القريبة من الشاطئ تلقى بالرواسب الفتاتية وجسيمات الصخور على الشاطئ، وتكون مكونة دائما من فتات الصخر الذى تكون بفعل التجوية الميكانيكية للقارات، وهى تختلف كثيرا عن الرواسب البرية terrestrial أو الرواسب القارية continental.

• معالم تتكون بفعل الترسيب البحرى

فى الوقت الذى تحدث فيه عملية النحات فى منطقة معينة من الشاطئ تحدث عملية ترسيب بحرى فى أماكن بين المد العالى والمنخفض تعرف باسم الرواسب الشاطئية littoral deposits. وهذه المعالم الترسيبية، مثل تلك التى تكون بالنحات البحرى، تميز معظم خطوط الشواطئ وأمثلتها ما يأتى:

• القضاض (جمع قضة) Beaches

القضّة هى تراكمات الحطام الصخرى التى تترسب على خط الساحل، فوق مستوى الجزر المنخفض - وهى من المعالم الانتقالية، ومع أن معظم الشواطئ تكون رملية فى العادة، إلا أنها قد تكون من الحصى والجرول والحصباء والأصداف والطين أو خليط من كل هذه الأنواع.

• الحواجز البحرية Offshore (Barrier) Bars

تراكمات من الرمال طويلة وضيقة وموازية للشاطئ، لكن تفصلها عنه لاجونات lagoons ضحلة. ومن الأمثلة الواضحة، شاطئ شيل Chesil الذى يقع بالقرب من دورست Dorset ويمتد لمسافة ١٦ ميلا تقريبا من بردبورت Bridport إلى بورتلاند Portland بإنجلترا، ويتكون من الحصى الذى نشأ محليا من صخور المنطقة، كذلك من الصخور البعيدة عند ديفون Devon وكورنول Cornwall بإنجلترا.

• الألسنة البرية والمعقوفات Spits and Hooks

الألسنة البرية هى تراكمات من الرمال والحصى ضيقة وطويلة تمتد فى الماء، وتتصل بالبر من جانب واحد (شكل ٩٥)، وعندما يتقوس جانب اللسان فى اتجاه الشاطئ يسمى معقوفا hooked وهناك أمثلة من الألسنة البرية والمعقوفات فى منطقة سولنت Solent بإنجلترا.

• التومبولات Tombolos

التومبولو tombolo هو حاجز من الرمال والجرول يربط بين جزيرة وأخرى، أو يربط بين جزيرة والبر. وتسمى الجزر التى تتصل بالبر بواسطة التومبولات باسم «الجزر المربوطة tied islands »وتعد جزيرة بورتلاند بإنجلترا من الجزر المربوطة، إذ يربطها تومبولو بالبر الرئيسى عند وايموث Weymouth، وجبل طارق Gibraltar أيضا يعد من الجزر المربوطة. وفى عام ٣٣٠ قبل الميلاد، بنى الإسكندر الأكبر التومبولو الصناعى بطول ٦٥٠ ياردة من أنقاض مدينة قديمة محطمة ليصل به

جزيرة تاير Tyre القديمة بالبر، لكن هذا التومبولو طمره الطمى منذ زمن بعيد. وبعض الجيولوجيين يرى أن التومبولو يتكون من الجزيرة والحاجز الذى يصلها بالبر، وليس من الحاجز فقط كما ورد فى التفسير الذى ذكرناه سابقا.

• الشرفات المبنية بالموج Wave - Built Terraces

تسمى الرسوبيات التى تتراكم فى المياه العميقة، خلف الشرفات المقطوعة بالأمواج باسم الشرفات المبنية بالأمواج. ومثال هذه الشرفات تلك الموجودة فى جنوب غرب أيرلندا من كورك Cork حتى كيرى Kerry.

وهناك أمثلة أخرى مثل سواحل ريا Ria فى شمال غرب أسبانيا، وسواحل الفيوردات fiords فى النرويج ونيوزيلندا. وقيام مثل هذه السواحل يعد نتيجة مباشرة للتغيرات التى حدثت فى فترة ما بعد الجليد post-glacial period.

١٠- تطور خط الشاطئ Shoreline Development

يتطور خط الشاطئ على مدى فترات طويلة من الزمن، نتيجة لتغيرات فى منسوب سطح البحر، يدعمها النحات بالأمواج والتيارات ٠ وقد اقترحت تصنيفات عديدة للشواطئ، لكن لم يستقروا بعد على التصنيف الذى يجب أن يتبع ويؤخذ به.

وفيما يلى ملخص لاثنين من أكثر التصنيفات شيوعا وهما:

أ- تقسيم جونسون Johnson's Classification

وضع الأستاذ د.و. جونسون الأستاذ بجامعة كولومبيا أُسُس هذا التصنيف واقترحه لأول مرة عام ١٩١٩ م. ويقوم على فكرة تحركات الأرض بالنسبة لمنسوب البحر، أو بمعنى آخر، على أساس ارتفاع أو هبوط الساحل. ويضم هذا التصنيف أربعة أنماط من خطوط السواحل هى:

• خطوط سواحل الغمر Shorelines of Submergence

تنشأ هذه الخطوط الساحلية نتيجة لهبوط كتلة برية أو لارتفاع منسوب البحر، ويكون هذا النوع من السواحل عميقا وغير منتظم الشكل عادة، ويتميز بوجود كثير من الرؤوس والخلجان والوديان الغارقة drowned valleys التى

أصبحت خلجانا صغيرة، أو مصبات أنهار، أو جزرا، أو جروفا بحرية أو ألسنة أو حواجز أو تومبولات على طول خط الساحل.

• خطوط السواحل البارزة Shorelines of Emergence

تُظْهِر خطوط السواحل التى برزت حديثا حدودا منتظمة وحواجز بحرية ولاجونات، أما خلجانها فقليلة نسبيا. وهى تتميز كذلك بالسهول الساحلية المنبسطة، التى تمثل جزءا قد ارتفع من أرضية البحر القديم. ومثل هذا النوع من السواحل ليس شائع الانتشار، إذ إن عملية الرفع uplift لا بد أن تقاوم تأثير الغمر submergence، وعلى ذلك فإن أكثر أنواع خطوط السواحل البارزة شيوعا هى الخطوط الساحلية المركبة compound، والتى سيأتى شرحها فيما بعد، وعلى سبيل المثال فإن خط الشاطئ فى فنلندا أوشك أن يصبح من الشواطئ البارزة emergent، لكن عملية إعادة الضبط الايزوستاتيكى isostatic readjustment لم تستكمل بعد. ومن الأمثلة الممتازة على ذلك النوع من الشواطئ ما يوجد على طول ساحل تكساس فى خليج المكسيك.

• خطوط السواحل المتعادلة Neutral Shorelines

خطوط السواحل المتعادلة هى تلك التى لا تكون مغمورة أو بارزة، وتتكون نتيجة لبناء الدلتات عند مصبات الأنهار، أو نتيجة لسهول الكسح out wash التى توجد فى مناطق الثالج، كذلك قد تنشأ هذه السواحل عن اللابة المتدفقة فى المناطق البركانية، وقد تكون بفعل الشعاب المرجانية.

• خطوط السواحل المركبة Compound Shorelines

هذا نوع من خطوط السواحل يتميز بالسمات التى تميز سواحل الغمر وسواحل البروز معا. وعادة ما يكون وراء تكوين هذا النوع من الخطوط الساحلية المركبة تاريخ جيولوجى معقد، تكون فيه المنطقة قد تعرضت لعمليات غمر ورفع. وكثير من سواحل المحيط الأطلنطى للولايات المتحدة الأمريكية من فيرجينيا وحتى فلوريدا من هذا النوع المركب.

ب- تصنيف شبرد Shepard's Classificatian

فى عام ١٩٣٧ اقترح الأستاذ شبرد بمعهد سكربس Scripps لعلوم البحار بالولايات المتحدة الأمريكية، تصنيفا عالج فيه بعض المشاكل التى وردت فى تصنيف جونسون . ويعد هذا التصنيف شاملا إلى حد ما، وقد نال تأييد وموافقة كثير من علماء البحار والجيولوجين، بالرغم من صعوبة تطبيقه على بعض أنواع السواحل.

وفيما يلى توضيح لتقسيم شبرد:

أولا: خطوط ساحلية أولية أو شابة تكونت أساسا بعوامل ليست بحرية:

أ- سواحل تشكلت بعمليات نحات برية وغرقت بالهبوط إلى أسفل أو من أثر زوال الثالج:

١- سواحل ريا Ria (سواحل وديان نهرية غارقة).

٢- سواحل مثلجية غارقة.

ب- سواحل تشكلت بترسيب مواد برية:

١- سواحل مترسبة بالأنهار.

أ- سواحل الدلتا.

ب- سواحل السهول الطمية الغارقة.

٢- سواحل مترسبة بالثالج:

أ- ركام جليدى مغمور جزئيا.

ب- تلال جليدية بيضية الشكل مغمورة جزئيا.

٣- سواحل مترسبة بالرياح.

٤- سواحل الامتداد النباتى vegetation extended

جـ- سواحل تشكلت بالنشاط البركانى:

١- ترسيب بركانى (سواحل انسياب لابى حديث)

٢- انفجار أو انهيار بركانى

د- سواحل تشكلت بالحركات الأرضية:

١- سواحل أحدور الصدع.

٢- سواحل ناتجة عن الطى.

ثانيا: خطوط ساحلية ثانوية أو ناضجة تشكلت أصلا بعوامل بحرية:

أ- سواحل تشكلت بنحات بحرى:

١- جروف بحرية استقامت بالنحات البحرى.

٢- جروف بحرية جعلها النحات البحرى غير منتظمة.

ب- سواحل تشكلت بالترسيب البحرى:

١- سواحل امتدت واستقامت بترسيب الحواجز والألسنة.

٢- سواحل امتدت (البناء فى اتجاه الخارج) بالترسيب البحرى.

٣- سواحل ذات حواجز بحرية وألسنة شاطئية طويلة.

٤- سواحل الشعاب المرجانية.

ولقد صمم التصنيف السابق ليطبق على التقسيمات الصغيرة لخطوط الشواطئ في المحيطات. وقد وضع العالم شبرد الأقسام الصغيرة **subdivisions** الآتية لتشمل بشكل أوسع تصنيف المناطق الساحلية الأكبر فى العالم:

* سواحل لها شواطئ شابة (جبال تكونت خلال الحقب الثالث **Tertiary** أو الحقب الرابع **Quaternary** (انظر الفصل الثامن عشر).

** سواحل ذات جبال قديمة (جبال تكونت قبل الحقب الثالث **Tertiary**).

*** جبال ذات سهول ساحلية متسعة.

**** سواحل مثلجة Glaciated Coasts

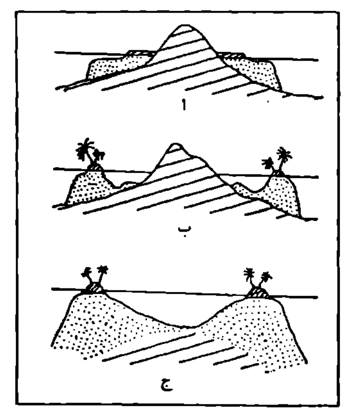
ومثل أية ظواهر طبيعية، فإن خطوط الشواطئ تتنوع وتوجد منها أنواع مركبة، حتى أننا لا نستطيع أن نجد تصنيفا واحدا كافيا، إذ إن أنواع خطوط الشواطئ تتعقد كثيرا بسبب كثرة التغيرات التى تطرأ على ساحل ما خلال تاريخ تطوره الطويل.

١١-الشعاب المرجانية Coral Reefs

ذكرنا فيما سبق أن الشعاب المرجانية تعد عاملا مهما فى تكوين خطوط الشواطئ المتعادلة أو الناضجة التى شُكّلت بالترسيب البحرى. والشعاب المرجانية حيود ridges من الصخور الجيرية توجد عند سطح البحر أو بالقرب منه. وتتكون جزئيا من تراكمات هائلة من الهياكل الجيرية للمراجين البانية للشعاب reef-building corals . هذه الحيوانات الصغيرة (المراجين) توجد فى البحر فقط، وتعيش عادة فى مستعمرات colonies فى مياه صافية دافئة (ليست أبرد من درجة حرارة ٦٨° فهرنهيت)، وعند أعماق أقل من ١٥٠ قدما. وتستخلص المراجين كربونات الكالسيوم الذائبة فى مياه البحر وتبنى به هياكلها، وهناك كثير من النباتات والحيوانات التى تفرز الكالسيوم وتعيش أيضا فى الشعاب. وعندما تموت هذه الكائنات الحية، فإن بقاياها تضاف إلى الكتلة الجيرية وتنمو شعاب جديدة فوقها، وبذلك تستمر الشعاب فى نموها لمدد طويلة من الزمن.

وأكبر شعب مرجانى معروف هو الحاجز الشعابى الكبير Great Barrier Reef على الساحل الشرقى لكوينزلاند Queensland فى أستراليا، ويمتد لمسافة أطول من ١٢٠٠ ميل. ويختلف عرضه من عشرة أميال إلى ٩٠ ميلا. ويفصل هذا الشعب عن كتلة البر الرئيسية لاجون متسع يشكل المياه الداخلية التى تعد طريقا رئيسيا للتجارة. والشعاب المرجانية الحفرية توجد فى أماكن كثيرة من العالم فى صخور ذات أعماق مختلفة؛ ففى بريطانيا توجد حفريات الشعاب المرجانية فى صخور السيلورى بصفة أساسية وتمتد إلى الكربونى والجوراسى، ويتخذ هذا الانتشار دليلا على أن المناخ كان دافئا خلال تلك العصور فى هذه المناطق.

ولقد اهتم الجيولوجيون وعلماء المحيطات بالطرق التى تكونت بها الأنواع المختلفة للشعاب المرجانية وكذلك طرق تكوّن الجزر المرجانية. ومن أكثر النظريات التى وضعت فى هذا المجال ونالت القبول عند معظم الجيولوجين، تلك التى وضعها تشارلز دارون عام ١٨٤٢ وأسماها نظرية الهبوط. وطبقا لفرضية الهبوط subsidence hypothesis ، فإن هناك ثلاث مراحل لتكوين الشعب المرجانى (انظر شكل ٩٧). فى البداية يتكون شعب حافى fringing reef عندما ينمو المرجان فى المياه الضحلة قرب شاطئ جزيرة. وبمرور الزمن تهبط الجزيرة تدريجيا، بينما يستمر المرجان فى نموه فوق قمة الشعب. ويكبر الشعب بالتدريج، ويفصله عن الجزيرة المنكمشة لاجون lagoon، وبذلك يتكون شعب حاجزى barrier reef. أما فى المرحلة الأخيرة، طبقا لفرضية دارون، فيتكون الأتول atoll، وهو ببساطة شعب دائرى (حلقى) يحيط بلاجون يغطى الجزيرة التى غمرت حديثا.



شكل (٩٧)

تتابع تكون الشعاب المرجانية طبقا لفرضية الهبوط لدارون

ا- (شعب هدبى). ب- (شعب حاجزى). ج- (أتول).

وهناك فرضية أخرى، هى فرضية التحكم الجليدى Glacial Control Hypothesis والتى افترضها دالى الأستاذ بجامعة هارفارد عام ١٩١٠ والتى يفترض فيها أن الشعاب الحاجزية والحلقية قد تكونت فوق الجزر البركانية المكشوطة truncated volcanic islands نتيجة للتغير فى مستوى سطح البحر خلال الفترات الجليدية. وللأسف فإن كلتا الفرضيتين لا تكفيان لتفسير كل البنيات الشعابية المرجانية الموجودة. وذلك فقد اقترح أن الشعاب المرجانية ربما تكون قد تكونت نتيجة لكل من فرضيتى الهبوط والتحكم الجليدى.

الفصل العاشر

البحيرات والمستنقعات

LAKES AND SWAMPS

يمكننا تعريف البحيرة بأنها كتلة من الماء الساكن تشغل منخفضا من الأرض. وتتباين البحيرات فى حجمها كثيرا، فتتردد مساحة البحيرة من فدان إلى آلاف الأميال المربعة. وتتباين أيضا فى العمق؛ فبعض البحيرات لا يزيد عمقها على بضعة أقدام، وقد تجف البحيرة فى فترات الجفاف؛ فى حين أن بعض البحيرات قد يصل عمقها إلى آلاف الأقدام. ويعد البحر الكاسبى Caspian أكبر بحيرة فى العالم، إذ تصل مساحته إلى ١٦٩ ألف ميل مربع (ولفظة بحر هنا، تسمية غير صحيحة، إذ إن أجساما مائية كالبحر الميت أو بحر الجليل Galilee، إن هى إلا بحيرات مالحة فى الواقع). وأعمق البحيرات فى العالم كله، هى بحيرة باى كال Bay Kal فى شرق سيبريا، حيث يبلغ عمقها أكثر من ٥٤٠٠ قدم.

وتوجد البحيرات عند كل الارتفاعات، فمثلا بحيرة تيتيكاكا Titicaca، التى تقع بين شيلى وبيرو فى أمريكا الجنوبية، توجد على ارتفاع ١٢٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر، وعلى النقيض من ذلك فإن البحر الميت يقع عند منسوب ١٣٠٠ قدم تحت مستوى سطح البحر.

وبعض البحيرات وخاصة الكبيرة منها لها تأثيرات عظيمة على سكان المناطق المحيطة بها، فهى تمدهم بمصدر مهم للماء سواء للشرب أو للأغراض الصناعية. وكذلك فللبحيرات تأثير على تلطيف درجة الحرارة فى المناطق المحيطة بها، كما أنها توفر مساحات تستخدم كأماكن للترفيه والنزهة تجذب عددا كبيرا من السواح، وخاصة إذا كانت هذه البحيرات موجودة فى مناطق جبلية بها مناطق خلابة، كما هو الحال فى منطقة البحيرات فى إنجلترا Lake District.

كذلك تستخدم البحيرات طرقا للمواصلات، ولذلك فإنه من المعتاد جدا أن تنشأ مدن كبيرة ومناطق صناعية حول البحيرات الكبيرة فى العالم.

١- أصل أحواض البحيرات Origin of Lake Basins

قد تتكون أحواض البحيرات بطرق شتى، ومن خلال عدد من العمليات الجيولوچية المختلفة؛ وسوف نتناول أهمها بالدراسة فيما يلى:

• حركات القشرة الأرضية Crustal Movements

تنشأ بعض أحواض البحيرات نتيجة لعمليات الاعوجاج warping والطى والتصدع التى تتعرض لها الطبقات، فمثلا بحيرة سوبريور Superior بأمريكا الشمالية تشغل حوضا تكون نتيجة لتحرفات بنائية ثم توسعت بعد ذلك بفعل العوامل الجليدية. وتتكون بحيرات الوديان الخسفية حينما تهبط كتل صدوع ضخمة بين حوائط عالية منحدرة (انظر الفصل الخامس). والبحيرات التى تتكون بهذه الطريقة، تكون شديدة العمق عادة وتشكل سلسلة على امتداد أرضية الوادى؛ وتوجد مثل هذه السلاسل فى الوادى الخسفى العظيم Great Rift Valley الذى يمتد من البحر الميت حتى بحيرة نياسا وتنجانيقا فى شرق أفريقيا.

وقد تتكون البحيرات نتيجة لإزاحة الصخور التى تصاحب الزلازل، وقد يحدث هبوط للأرض يؤدى إلى تكوين منخفضات مناسبة لتكوين البحيرة. ولقد تكونت بحيرة ريل فوت Reelfoot فى الشمال الغربى لتينيسى بأمريكا بنفس الطريقة بعد حدوث زلزال نيومدريد عام ١٨١١.

• النشاط البركانى Volcanic Activity

قد تؤثر البراكين فى تكوين البحيرات وينتج عن ذلك نوعان من البحيرات، فانسيابات اللابة lava (اللافا) التى تتدفق من البركان، قد تكون سدا يعترض مجرى نهر صغير، فتحجز المياه خلفه وتتكون بحيرة؛ وعلى سبيل المثال فقد تكوّن بحر الجليل بهذه الطريقة. أما النوع الثانى من البحيرات فهو الذى يتكون داخل فوهات البراكين (الكالديرا) فى البراكين المنقرضة extinct volcanoes. ومن أحسن الأمثلة لهذا النوع بحيرة كريتر crater lake فى منطقة الشلالات فى جبال شمال غرب أوريجون بأمريكا الشمالية. وهذه البحيرة تحتل كالديرا يصل عرضها

إلى ستة أميال وعمقها إلى ٢٠٠٠ قدم وتحاط بجروف يتردد ارتفاعها بين ٥٠٠ و ٢٠٠٠ قدم.

• التثلج Glaciation

تكوّن عدد كبير من البحيرات نتيجة لعمليات التثلج، وتشغل هذه البحيرات منخفضات في سطح الأرض تكونت نتيجة لعمليات التحات المثلجي glacial erosion ، أو أحواضا تكونت خلف سدود طبيعية من المواد التي رسبها الجليد. وتسمى البحيرات التي تتكون عند رؤوس الوديان الثلجية باسم بحيرات جبلية صغيرة tarns (انظر الفصل الثامن). وتنتشر هذه البحيرات في شمال ويلز Wales بإنجلترا وفي مناطق جبلية أخرى. وتوجد البحيرات التي تنتج عن عمليات التثلج في أماكن كثيرة، وكثير من البحيرات المستطيلة في شمال ويلز ومنطقة البحيرات في إنجلترا وكذلك كورى لوكس في اسكتلندا Corrie -Lochs، يعزى سبب تكوينها إلى العمليات الثلجية.

وهناك بحيرات أخرى صغيرة تكونت في حزام كتل الصدوع في الجرامبيانز Grampians. وتوجد البحيرات الثلجية في أماكن أخرى كثيرة من العالم، مثل بحيرة دوفDove في تسمانيا Tasmania، وكذلك البحيرات الموجودة في المناطق المرتفعة في الجبال الجليدية في أستراليا. والبحيرة التي تسمى فال يورك Vale of York كانت في وقت ما بحيرة مثلجية كبيرة، والآن كل ما تبقى من بحيرة هامبر Humber عبارة عن مستنقعات توجد على حافاتها. كذلك فإن بحيرة بيكرنج Pickering تكونت نتيجة لعملية الاستنقاع ponding خلال العصر الجليدى، ثم فاضت وكونت خانقا gorge ما زالت تتدفق فيه المياه، ومن العجيب، فإنه قد غير اتجاهه نحو البر بدلا من أن يصب في بحر الشمال وما زالت بقاياه قائمة على هيئة مستنقعات وبرك للخث peat bogs.

• تحركات الكتل أو الجاذبية Mass Movements or Gravity

تنشأ البحيرات أحيانا عندما يغطى ركام أرضى ناتج عن انزلاق أرضى في وادى نهر ما، فيسد مجرى النهر. وقد يتسبب هذا السد الطبيعى في تجمع المياه لتشكل بحيرة طبيعية. ويذكر أن بحيرة كبيرة كانت قد تكونت في الماضى في أعلى

نهر الراين Rhine بالقرب من فلمز Flims ونشأت بفعل الانزلاق الأرضى land-slide ولكنهــا اختــفت الآن. ويوجد مــثال حى نشــاهده اليوم وهو بــحيــرة سان كرستوبال San Cristobal فى كلورادو التى تكونت خلف انــياب طينى ضخم.

• الأنهار Rivers

تنشأ أحــواض البحيرات أحــيانا نتيــجة لعمليات الــنحات والترســيب بفعل الأنهار. ويحدث ذلك عندما تتحول المنعطفات النهرية المقطوعة إلى بحيرات هلالية ox - bow lakes وتوجـد مـثل هذه البـحيــرات فى ســهــول الفــيــضــان لنهــر الميسيبى. وقد تتكون أيضا فى الدلتات، وتعد بحيرة بونتكارتريان Pontchartrian فى دلتا نهر الميــسيبى مثالا طيا على ذلك (انظر الفصل الــسابع).

• المياه الأرضية Ground Water

قد تكوّن المياه الأرضية ثقوبا حوضية وكهوفا فى مناطق صخرية يوجد تحتها صخور قابلة للــذوبان مثل الحجر الجيرى والدولوميــت . وإذا سُدّت هذه الثقوب الحوضــية والكهــوف بالحطام الصخرى، فقد تمتلئ بالمــاء، وبالتالــى تتكــون بحيرة. وتوجــد بحيرات عــديدة من هذا النوع فى ولاية كنتاكى بأميركا الشــمــالية وكذلك فى أماكن أخــرى. وهناك بحيرات صغــيرة توجد فى شيــشاير Cheshire بإنجلترا حيث هبطت الأرض نتيجة لذوبان الملح الصخرى.

• الأمواج والتيارات Waves and Currents

تنتشر البحيرات على طول الســهول الســاحلية أو بالقرب من خطوط شواطئ بعض البحيرات والمحيطات. وتتكون هذه البحيرات عندما ترسب الأمواج والتيارات حمولتــها عند مداخل الخلجان والبحيــرات. ومياه البحيــرات التى تنشأ بالقرب من الشواطئ تكون ميــاهها مِلْحة فى العادة، لكنهــا قــد تتحــول إلى مــياه عذبة بمرور الزمن.

• أسباب أخرى Other Causes

قام الإنســان بإنشاء عــدد من البحــيرات الاصطناعــية وكذلــك قــام بزيادة مســاحات وحجوم البحيرات الطبيعيــة بطرق كثيرة، منها إقامة الــسدود عبر مــسارات

الأنهار. والماء الموجود فى منطقة ديرونت Derwent فى كمبرلاند Cumberland، وكذلك مستودعات المياه فى منطقة بيك Peak فى دربى شاير Derbyshire بإنجلترا تعد أمثلة جميلة لهذا النوع من البحيرات. وكذلك سدود القنادس Beavers Dam عبر الجداول ونباتات المستنقعات تؤدى إلى تكوين البحيرات. وهناك بحيرات قليلة تكونت فى فوهات البراكين التى تحدثها النيازك، والفوهات البركانية المملوءة بالمياه معروفة فى شمال كويبك Quebec وشمال سيبيريا. وقد تتكون البحيرات أيضا فى المحاجر المهجورة وكذلك خلف الجدد القاطعة الشديدة المقاومة وتتكون أيضا بفعل الرياح (كما فى منطقة لاندز بفرنسا).

٢- أنماط البحيرات Types of Lakes

تصنف البحيرات عامة إلى نوعين، إما بحيرات مياهها عذبة أو بحيرات ملحة:

• بحيرات الماء العذب Fresh-Water Lakes

البحيرات العذبة هى البحيرات التى تكون لها منافذ (مخارج) outlets، وتكون هذه المخارج عادة على شكل مجار سطحية للمياه، لكن قد تترسب منها بعض مياهها. وتستمد البحيرة مياهها العذبة من مياه الأمطار أو من الثلوج الذائبة أو من المياه الأرضية أو من مياه الأنهار. ويعتمد تركيب الماء فى البحيرة إلى حد كبير على تركيب الصخور التى تمر فيها المياه.

وبالرغم من أن بعض المواد المذابة التى تأتى بها مجارى المياه إلى البحيرة قد تترسب فيها، إلا أنها قد تخرج من البحيرة مرة أخرى خلال منفذ البحيرة. هذا بالإضافة إلى أن ماء المطر والثلج يجعلان مياه هذا النوع من البحيرات عذبا، ومعظم بحيرات العالم من النوع العذب، وأكبرها بحيرة سوبريور Superior التى تبلغ مساحتها ٣١٨٢٠ ميلا مربعا.

• البحيرات الملحة Saline or Salt Lakes

البحيرات الملحة هى تلك التى ليست لها مخارج (منافذ) وتوجد عادة فى المناخ الجاف، حيث تفقد البحيرات ماءها بفعل عمليات البخر، فعندما تتبخر المياه

يزداد تركيز الأملاح التى تترسب عند قاع البحيرة. وحيث إن طبيعة صخور البحيرة هى التى تحدد تركيب المياه، فهذا يؤدى إلى اختلاف نوعية الأملاح حسب نوعية الصخور التى تقع فى حوض البحيرة وحولها. وهناك بعض البحيرات الملحة مثل البحر الكاسبى Caspian See، الذى تكون نتيجة عزل وسد جزء من البحر الرئيسى، وفى هذه الحالة تكون المياه ملحة أصلا. وهناك بحيرات مثل البحيرة العظمى الملّحة Great Salt Lake بولاية يوتا بأميركا، نشأت كبحيرة عذبة مثلما نشأ البحر الميت. وفى مثل هذه البحيرات قد يبلغ تركيز الملح سبع مرات أو أكثر مثل تركيز الملح فى المحيطات الموجودة فى العالم.

وتسمى البحيرات الملّحة المحتوية على كميات كبيرة من كربونات الصوديوم أو البوتاسيوم باسم البحيرات القلوية. وتستمد المواد القلوية من الصخور النارية التى تحتوى على نسبة عالية من الصوديوم مثل صخر الجرانيت. ومن نماذج البحيرات القلوية بحيرة مونو Mono فى كاليفورنيا.

• بحيرات البلايا Playa Lakes

تتكون بحيرات البلايا فى الأماكن الأكثر انخفاضا فى أحواض الصحراء، وبحيرات البلايا هى بحيرات ضحلة مؤقتة تتكون بعد فترات المطر الغزير، وتختفى أثناء فترات الجفاف تاركة الغرين والصلصال الذى قد يغطى بالملح . وتسمى البحيرات الجافة المغطاة بطبقة من الملح باسم المسطحات القلوية أو الملاحات salinas.

وهناك أمثلة واضحة لبحيرات البلايا توجد فى كثير من المناطق القاحلة وشبه القاحلة فى كثير من بقاع العالم، وبخاصة فى أستراليا.

٣- تدمير البحيرات Destruction of Lakes

تعد البحيرات من المعالم الجغرافية المؤقتة، والعمليات الجيولوجية التى تسبب تكوين البحيرات هى نفسها التى تؤدى إلى خرابها وتدميرها. فبعض البحيرات قد تختفى إذا امتلأ حوض البحيرة بالرواسب أو بسبب إزالة الأراضى العالية المحيطة بالبحيرة نتيجة لعمليات النحات. ويمكن مشاهدة ذلك عند رأس

كرموك Crummock فى منطقة البحيرات Lake District بإنجلترا. وقد تختفى البحيرات إذا فقدت مياهها نتيجة للتبخير الشديد أو تسرب المياه إلى أسفل أو عندما تتحول الروافد الصغيرة التى تساب فيها إلى اتجاه مغاير. وقد تمتلئ بعض البحيرات بالمواد العضوية والنباتات، فعندما توجد الأعشاب والطحالب على حافة البحيرة، فإنها تنمو وتتكاثر وتمتد إلى وسط البحيرة، وقد تختلط بقايا الحيوانات بهذه الأعشاب لتحول البحيرة إلى مستنقع. وقد تؤدى عمليات الانهيارات الأرضية، وتراكم الطمى المترسب نتيجة لانصهار الجليد، والرمال التى توقها الرياح، والرماد البركانى إلى خراب البحيرات وتدميرها. ومن البحيرات التى تدمرت وانقرضت، بحيرة همبر Humber وبحيرة بكرنج Pick- ering بإنجلترا.

٤-المستنقعات Swamps

المستنقعات هى المنخفضات التى امتلأت كليا أو جزئيا بمواد نباتية متحللة أو برسوبيات وماء. وهناك مستنقعات كثيرة قد تكونت من امتلاء البحيرات بالمواد التى سبق ذكرها. وتوجد مستنقعات أخرى هى أراضٍ منخفضة رخوة بها مواد طينية وليس لها نظام صرف سطحى جيد.

وتوجد مستنقعات صغيرة أو برك bogs على السهول الفيضانية للأنهار القديمة مثل نهر المسيسيبى. ومستنقع رومنى Romney هو مصب نهرى مستقعى قد تكوّن بترسيب كميات كبيرة من الغرين فى مساحة كبيرة شمال شرق كنت Kent بإنجلترا ، وتوجد المستنقعات أيضا على السهول الساحلية وتعرف باسم مستنقعات المد والجزر، ويوجد الكثير منها على السواحل الأطلنطية والخليجية للولايات المتحدة الأميركية.

وهناك أنواع معينة من المستنقعات تتميز بوجود كثافة شديدة من النباتات المتفحمة جزئيا والتى تعرف باسم الخث peat، وهى منتشرة بكثرة فى أيرلندا. والمواد المستخرجة من هذا النوع لها محتوى كربونى مرتفع، وتستخدم وقودا عندما تجف. وتسمى العملية التى تتحول فيها نباتات المستنقع إلى خث peat

باسم التفحم carbonization (انظر الفصل الخامس عشر) وعملية تكوّن الخث هى أولى مراحل تكوّن الفحم.

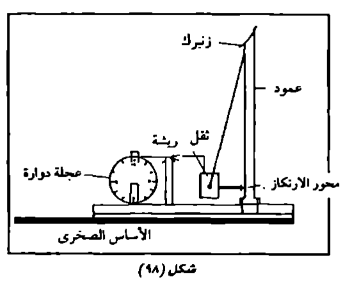
كذلك توجد المستنقعات فى المناطق المثلجة، حيث تسد الرواسب الثلجية مجارى الأنهار مما يؤدى إلى تكوين البحيرات والمستنقعات (كما هو الحال فى فال يورك Vale of York.

أما فى المناطق التى تتجمد فيها الأرض بصفة مستمرة عند أعماق ضحلة، فقد تتكون المستنقعات على الأسطح العلوية خلال فترات ذوبان الجليد. وهذه الطبقة الإسفنجية المشبعة بالماء تعرف باسم التندرا Tundra ، وهى شائعة فى مناطق المحيط المتجمد الشمالى فى أمريكا الشمالية وفى أوربا وآسيا.

الفصل الحادى عشر

الزلازل وباطن الأرض

EARTHQUAKES AND THE INTERIOR OF THE EARTH



شكل (٩٨)

سيزموجراف، جهاز لتسجيل الهزات الأرضية

الزلازل ذبذبات طبيعية تحدث فى القشرة الأرضية وتعد دليلا مؤكدا على أن الحركة القشرية لا تزال تعمل حتى اليوم. وقد تكون بعض الهزات الأرضية عنيفة للغاية، وتكون مسئولة عن الكثير من الكوارث والوفيات. وعلى أى حال فإن معظم الهزات الأرضية التى تحدث تكون ضئيلة جدا بحيث لا يشعر بها الإنسان، لكنها تسجّل بأجهزة حساسة تسمى السيزموجراف (انظر شكل ٩٨).

١ - أسباب الزلازل Causes of Earthquakes

تأمل الإنسان كثيرا فى أسباب حدوث الزلازل منذ قرون ولقد فسر الأقدمون حدوث الزلازل بأنه دليل على غضب الآلهة على العالم، أو أنها تحدث بسبب تململ حيوان كانوا يتوهمون أنه يحمل الأرض فوق كاهله.

وبالرغم من أن علم الزلازل (السيزمولوجيا) قد أمدنا بكثير من المعلومات عن الزلازل، إلا أن السبب النهائى ليس معروفا بالتأكيد. ونحن نعلم أن الهزات الأرضية تبدأ برجفة مفاجئة أو بصدمة، ونعلم أيضا أن معظم هذه الصدمات ترتبط بعملية التصدع faulting. وتتسبب الكسور وإزاحة الصخور على طول مستوى الصدع فى حدوث حركة موجية فى الصخور. ويمكن تفسير الطريقة التى تحدث بها عملية تكسير الصخور على أساس نظرية الارتداد المرن elastic rebound theory، وطبقا لهذه النظرية، فإن الكتل الصخرية فيما تحت سطح الأرض تتعرض لضغوط مستمرة من اتجاهات مختلفة تؤدى إلى انثنائها وتغير شكلها ببطء. ونتيجة للضغوط المستمرة ينشأ إجهاد هائل strain يؤدى إلى حدوث كسر فى الصخور التى سرعان ما تعود بعد ذلك إلى وضعها الأصلى قبل تعرضها للإجهاد. وهذا ما يسمى بالارتداد المرن للصخور، وهو الذى يتسبب فى حدوث الموجات السيزمية (الزلزالية).

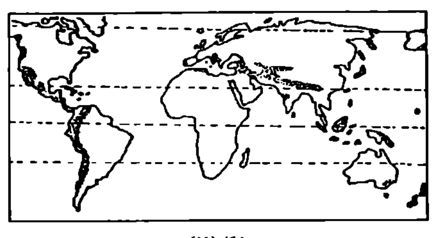
وتسمى الزلازل التى تحدث بهذه الطريقة الزلازل التكتونية tectonic earthquakes، وهى أكبر الزلازل وأشدها تدميرا. وقد يتسبب النشاط البركانى فى حدوث الموجات السيزمية أيضا، وقد يحدث هذا نتيجة للانفجارات البركانية العنيفة (انظر الفصل الثالث)، أو من الحركة المفاجئة للصخور المنصهرة (الصهارة) تحت سطح الأرض. وهناك أسباب ثانوية للاهتزازات الأرضية تنشأ عن الانهيارات الجبلية أو الانهيار الثلجى أو الانهيار المفاجئ للكهوف.

٢- توزيع الزلازل Distribution of Earthquakes

بالرغم من إمكانية حدوث الزلازل فى أى مكان من الأرض، إلا أن معظمها يحدث فى مناطق عدم استقرار القشرة الأرضية، ويرتبط ذلك بالحركات البانية للجبال.

والزلازل، مثل البراكين، تحدث فى أحزمة سيزمية معلومة ومحددة جيدا (شكل ٩٩) ويقع ٨٠ ٪ من إجمالى الزلازل التى تحدث فى العالم فيما يسمى بالحزام الحول باسيفيكى Circum - Pacific المتكون من سلاسل الجبال الحديثة والسلاسل الجبلية البركانية. ويمتد هذا الحزام من شيلى على طول الحدود الغربية

لأميركا الجنوبية وأميركا الشمالية، ويمتد شمالا ليشمل ألاسكا ثم يمتد إلى اليابان والفلبين واندونسيا ونيوزيلندا وجزر أخرى فى المحيط الهادى. والحزام السيزمى الكبير الثانى هو حزام البحر المتوسط والعبرآسيوى Mediterranean and Trans Asiatic Belt، ويمتد من البحر الكاريبى عبر جبال الهيمالايا والألب، ويشمل أسبانيا وإيطاليا واليونان وشمال الهند.



شكل (٩٩)
المناطق المظللة توضح الأحزمة السيزمية الكبرى فى العالم

وتنطلق ١٥ ٪ من الطاقة السيزمية للأرض من حزام البحر المتوسط والعبر آسيوى، أما النسبة الباقية فتنطلق من أماكن العالم الأخرى.

ونادرا ما تتعرض بريطانيا إلى الزلازل، ذلك لأنها لا تقع فى أى من حزامى الزلازل المذكورين آنفا. وأحيانا تتعرض اسكتلندا لزلازل ضعيفة، نتيجة لحدوث حركات بسيطة على طول خطوط الصدوع القديمة كتلك التى تفصل الأراضى العالية Highlands عن الوادى الأوسط Midland Valley. وقد حدث زلزال ضعيف فى شمال إنجلترا فى أوائل عام ١٩٦٠. أدى إلى إيقاظ الناس من نومهم فى هامشير Hampshire.

وفى بعض الأحيان تحدث زلازل فى أماكن أخرى من العالم تحدث أثرا يشعر به الناس فى بريطانيا ولقد تسبب الزلزال الذى حدث فى لشبونة Lisbon عام ١٧٥٥ م إلى حدوث مدّ غير عادى، أدى إلى ارتفاع سريع قُدِّر بأكثر من قدمين فى بعض بحيرات اسكتلندا.

وكما سوف نرى، فإن بريطانيا سعيدة الحظ تماما لعدم وقوعها فى منطقة زلزالية، لكن ذلك لم يكن هكذا دائما، فلا بد أن تكون الجزر البريطانية قد تعرضت فى الماضى الجيولوجى إلى الزلازل، مثل ما تتعرض له اليوم أماكن أخرى من العالم. وربما تكون الحركات الأرضية الضعيفة فى اسكتلندا هى نهاية الذيل من سلاسل سيزمية هزت المنطقة فى الأزمنة الماضية.

٢-آثار الزلازل Effects of Earthquakes

تعد الآثار المدمرة للزلازل من الأشياء المألوفة لمعظم الناس، ومنها المبانى المنهارة، وخطوط السكك الحديدية والطرق التى تنجرف مساراتها، وانهيار الجسور، والشقوق الهائلة فى الأرض، وكذلك تغير مستوى سطح البحر. وهذا قليل من كثير من التغيرات الفيزيقية التى تسببها الزلازل. وفى بعض الزلازل التى تضرب المدن تكون الآثار التدميرية للحرائق التى تشب أكثر بكثير من أثر الموجات السيزمية. فقد تبدأ الحرائق نتيجة لكسر الخط الرئيسى للغاز أو الكبل الكهربائى، أو من المواقد التى تنقلب بفعل الموجات السيزمية التى تهز المكان. وتكون محاولة إخماد النيران فى مثل هذه الحالات قاصرة بسبب فقدان أجهزة إطفاء الحرائق أو كسر خطوط المياه الرئيسية ووصلاتها المتفرعة منها.

أما الخسائر فى الأرواح التى تنتج عن زلزال كبير، فقد تكون مروعة، كتلك التى نجمت عن الزلزال الذى ضرب شمال الجزء الأوسط من الصين عام ١٥٥٦ م وقيل إنه تسبب فى وفاة ٨٣٠ ألف نسمة. وحيث إن الزلازل تحدث دائما بسرعة وبصورة غير متوقعة، فلن يكون هناك وقت كاف لاتخاذ الإجراءات التحذيرية. كذلك قد يرتفع عدد الوفيات بسبب عوامل معقدة، مثل انتشار الأمراض والفيضانات والحرائق والمجاعة .

وبالإضافة إلى الخسائر التى تسببها الزلازل فى فقد الحياة والممتلكات، فإن الزلازل تتسبب أيضا فى إحداث تغيرات جيولوجية عديدة فى المنطقة المنكوبة، مثل حدوث الانزلاقات الأرضية والانهيارات الجبلية وانسياب الطمى وانقطاع دورة المياه الأرضية واضطرابها، وكذلك هبوط الأرض وتشققها.

ويتولد عن الزلازل التى تحدث تحت المياه فى المحيط موجات هائلة من المياه تسمى تسونامى Tsunami أو موجات البحر السيزمية seismic sea waves. هذه الموجات التى قد يصل ارتفاع الواحدة منها إلى أكثر من ٢٠٠ قدم وتصل سرعتها إلى أكثر من ٥٠٠ ميل فى الساعة تكون لها قدرة تدميرية رهيبة للغاية. وقد زامنت موجة من هذا النوع زلزال لشبونة عام ١٧٥٥ م وبلغ ارتفاعها خمسين قدما واكتسحت الأرض التى أثرت فيها لمسافة تزيد على نصف الميل. وحدثت واحدة أخرى شمال طوكيو على طول الساحل الباسيفيكى لليابان عام ١٨٩٦، وبلغ ارتفاع الموجة مئة قدم، وأدت إلى موت أكثر من ٢٧ ألف شخص.

٤- زلازل تاريخية Historic Earhquakes

يسجل التاريخ حدوث زلازل كثيرة، بعض منها يرجع تاريخه إلى ما قبل الميلاد. وفيما يلى وصف مختصر لعدد قليل من أخطر الزلازل التى حدثت:

• لشبونة Lisbom (البرتغال) عام ١٧٥٥

ربما يكون هذا الزلزال هو أقوى زلزال سجله التاريخ، وبالرغم من أن الصدمة الزلزالية الابتدائية استمرت لست أو سبع دقائق فقط، إلا أنها تسببت فى تحطيم نصف المدينة، وشعر الناس بالزلزال فى مساحة ١٢٥٠٠٠٠ ميل مربع. وبعد حدوث الهزة الأولى، تبعتها هزتان شديدتان، حدثت الأولى بعد عشرين دقيقة، وحدثت الثانية بعد ذلك بحوالى ساعتين. وهاجمت الأمواج الزلزالية العاتية البر لمسافة نصف ميل، وحطمت كل شيء فى طريقها.

وأضافت الحرائق الكبيرة التى اشتعلت خسائر هائلة فى الممتلكات (بلغت قيمتها ملايين الجنيهات) وبلغ عدد الخسائر من المتوفين أكثر من ٦٠٠ ألف شخص.

• نيومدريد New Madrid، ميسورى Missouri عام ١٨١١ وعام ١٨١٢

فى هذا الزلزال خرجت سلسلة من الموجات السيزمية شعر بها الناس من الساحل الأطلنطى لأمريكا إلى جبال روكى، وكذلك من كندا حتى خليج

المكسيك. حدثت الضربة الأولى عند الساعة الثانية صباحا في السادس عشر من ديسمبر عام ١٨١١، تبعتها سلسلة من التوابع التي استمرت عدة أيام. وحدثت ضربة عنيفة أخرى في نهاية شهر يناير ١٨١٢ . وحدثت الضربة الثالثة والتي كانت أعنفها في أوائل شهر فبراير عام ١٨١٢ . وخلال فترة الثلاثة أشهر التي ساد فيها الاضطراب السيزمي، سُجِّلت أكثر من ١٨٧٤ هزة في لوى فيل Louisville في ولاية كنتاكي على بعد مئتي ميل. ولحسن الحظ فإن هذا الجزء من الولايات المتحدة لم يكن مأهولا بالسكان خلال البداية الأولى من القرن التاسع عشر، ولهذا كانت هناك خسائر محدودة وقليلة في الأرواح والممتلكات. ومع ذلك فقد حدثت تغيرات جيولوجية ملحوظة في المنطقة، فالانزلاقات الأرضية الشديدة أثرت في طوبوغرافية المنطقة، حتى أنها غيرت حدود الأراضي . والمناطق التي كانت مستنقعات، ارتفعت وتصرّف منها الماء، بينما هبطت أجزاء أخرى من الأرض لعمق عشرة أقدام وتحولت إلى مستنقعات وبحيرات جديدة . وتغير مسار مجرى المسيسيبي، وتكونت بحيرة ريل فوت Reel Foot في شمال غرب تينيسي، والتي تعد من أكبر البحيرات؛ إذ يبلغ طولها ١٨ ميلا ويصل عرضها إلى أميال عديدة.

• تشارلزتون Charleston (كارولينا الجنوبية)، عام ١٨٨٦

هذا الزلزال مثل زلزال نيومدريد الذي سبق وصفه. وقد حدث في منطقة كان يعتقد أنها منطقة مستقرة. وخلال الزلزال تزايدت الموجات السيزمية في شدتها لدرجة أن الأرض بدت وكأنها ترتفع وتهبط في حركة موجية مرئية. وتسبب هذا الزلزال في خسائر، وأدى إلى مقتل ٢٧ فردا، وشعر به سكان معظم الجانب الشرقي للولايات المتحدة.

• سان فرانسيسكو San Francisco كاليفورنيا عام ١٩٠٦

حدث هذا الزلزال الشديد والشهير في الصباح المبكر في الثامن عشر من شهر إبريل عام ١٩٠٦، واستمر الزلزال لفترة ٦٧ ثانية، وسببه حركة أرضية أفقية على طول صدع سان أندرياس San Andreas وخلال هذه الفترة الزمنية البسيطة، قتل ٧٠٠ شخص وانهارت مبان كثيرة، وتسببت الحرائق التي اشتعلت بعد ذلك

فى خسائر تقدر بملايين عديدة من الجنيهات، وتحطم جزء كبير من المدينة، وحدثت انزلاقات أرضية فى بعض المناطق الجبلية، كذلك فتحت شقوق كثيرة وكبيرة فى الأرض، وجرفت الأسوار وانجرفت خطوط السكك الحديدية عن مسارها الأصلى لمسافة ٢٠ قدما.

• كانسو Kansu، الصين، عام ١٩٢٠ و١٩٢٧

فقد فى هذين الزلزالين أكثر من ٣٠٠ ألف شخص حياتهم. وتمثلت معظم الخسائر فى الانهيارات الأرضية. وفى ذلك الوقت كان الصينيون يعيشون فى الكهوف التى تهدمت هى والقرى والمدن كذلك أدى هذان الزلزالان إلى حدوث تغيرات جيولوجية وجغرافية فى المنطقة المنكوبة، حيث سُدّت الأنهار بالركام الصخرى المتوضع فيها.

• خليج ساجامى Sagami Bay، اليابان عام ١٩٢٣

تعد هذه الكارثة من أعظم ما حدث فى الأزمنة الحديثة وقد أدت إلى مقتل مئة ألف شخص، وإلى خسائر فى الممتلكات قدرت بملايين الجنيهات. وتأثرت مدينة طوكيو بشدة وهى تبعد سبعين ميلا عن خليج ساجامى. وكذلك تأثرت مدينة يوكوهاما على مسافة خمسين ميلا من ساجامى أيضا. وتسبب الزلزال الذى نشأ من تحت مياه البحر فى توليد موجات تسونامية عاتية، سببت دمارا هائلا على طول الساحل. وتسببت الحرائق فى خراب ٧٠ ٪ من طوكيو، بينما تحطمت تماما مدينة يوكوهاما.

• بحيرة هبجن Hebgen Lake مونتانا، عام ١٩٥٩

فى السابع عشر من شهر أغسطس عام ١٩٥٩، ضربت سلسلة من الهزات الأرضية المتنزه القومى فى يلوستون Yellowstone National Park بأميركا، على حدود مونتانا Montana - ويومنج Wyoming. وتركزت معظم الخسائر فى الانزلاقات الأرضية التى دفنت المخيِّمين campers فى أخدود نهر ماديسون. وأدى الانزلاق الأرضى لنهر ماديسون إلى انهيال ٤٠ مليونا من الياردات المكعبة من الصخور، كونت سدا طبيعيا وكونت بحيرة جديدة.

• شيلى Chile عام ١٩٦٠

تعد سلاسل الهزات الأرضية التى حدثت على طول الساحل فى شيلى بدءا من شهر مايو ١٩٦٠ من أكبر الكوارث التى وقعت فى هذا القرن. وكانت الهزات عنيفة لدرجة أن معظم منازل المنطقة المنكوبة قد دمرت بالكامل، واقتلعت الأشجار وأعمدة التليفون وأصبحت ملقاة مثل أعواد الثقاب، وتفلجت الأرض عن الشقوق، وانثالت التربة كما لو كانت مادة سائلة. وازدادت الخسائر مع ظهور الموجات البحرية السيزمية التى تردد ارتفاعها بين ١٢ و ٣٠ قدما. ونتجت عن هذه الموجات التسومانية كوارث عديدة فى القرى الشيلية وغرق مئات الأفراد. وعبرت الموجات السيزمية البحرية المحيط الهادى بسرعة بلغت ٤٥٠ ميلا فى الساعة، وحطمت قرى بأكملها فى هاواى واليابان. وخلف الزلزال الأصلى الذى حدث فى شهر مايو بالإضافة إلى التوابع التى تلته واستمرت شهورا عديدة خسائر فى الممتلكات قدرت بملايين الجنيهات وقتل أكثر من ٥٠٠٠ شخص.

• سكوبجى Skopje - يوغوسلافيا عام ١٩٦٢

أذاع التليفزيون نبأ هذه الكارثة من موقع الحدث، فقد احتلت أخبار المدينة الصغيرة العناوين الكبيرة للأنباء العالمية. وتدافع العمال بأدواتهم لمساعدة ١٢٠ ألف نسمة ممن أصبحوا بلا مأوى، وكذلك لكى يحفروا قبورا لألف قتيل ماتوا إثر الزلزال. ودُمِّرت مصادر المياه مما أدى إلى ظهور الأمراض والأوبئة.

• ألاسكا Alaska عام ١٩٦٤

يعد هذا الزلزال من أعنف الزلازل التى أثرت فى أمريكا الشمالية على الإطلاق، وحدث بالقرب من أنكوراج Anchorage فى الاسكا، بعد ظهر السابع والعشرين من شهر مارس عام ١٩٦٤. وسبب خسائر فى الممتلكات قدرت بملايين الجنيهات، وأزيحت الصخور إلى أعلى لمسافة أكثر من ٣٠ قدما. وبالإضافة إلى الخسائر التى سببتها الهزة الأرضية، فقد دمرت الموجات السيزمية البحرية كثيرا من البنيات التى أقامها الإنسان على طول الشاطئ فى المنطقة المنكوبة. ونظرا لأن المنطقة

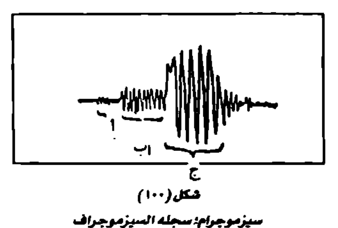
غير مأهولة بالسكان كثيرا، فقد اعتبر ١١٥ شخصا فى عداد المفقودين، وهذا عدد قليل جدا بالنسبة إلى كمية الطاقة السيزمية التى انطلقت من هذا الزلزال.

٥- كشف وتسجيل الزلازل Detecting and Recording Earthquakes

يكشف عن الزلازل ويتم تسجيلها بواسطة جهاز يسمى السيزموجراف seis-mograph (شكل ٩٨) . ويتكون السيزموجراف أساسا من زنبرك معلق به ثقل أو بندول pendulum حر الحركة ليتأرجح فى اتجاه الموجات التى يراد تسجيلها، ويوجد معه جهاز تسجيل يعمل من خلال ساعة تسجل وقت الحدث.

ويثبت البندول بإطار يدخل فى طبقة الأساس الصخرى. ونظرا للقصور الذاتى inertia للبندول الذى يتأرجح بحرية فهو لا يتأثر بأية ذبذبات فى طبقة الأساس الصخرى، لكن باقى الجهاز المثبت بشدة سوف يتحرك بهذه الذبذبات. وتوجد ريشة تتصل بالبندول لتسجيل الذبذبات على أسطوانة (طبلة) تحمل ورقة التسجيل (توجد أنواع من السيزموجراف تسجل على أوراق تسجيل فوتوغرافية تتعرض لنقطة ضوئية منعكسة من مرآة).

ويسمى السجل الناتج باسم السيزموجرام seismogram ويوضح المدة التى استغرقتها الهزة الأرضية وشدتها. وحينما تكون القشرة الأرضية فى حالة استقرار، فإن خط التسجيل يكون مستقيما، أما حين تنشط الموجات السيزمية، فإنها تحرك البندول، مما يجعل خط التسجيل متموجا (شكل ١٠٠).



شكل (١٠٠)

سيزموجرام: سجله السيزموجراف

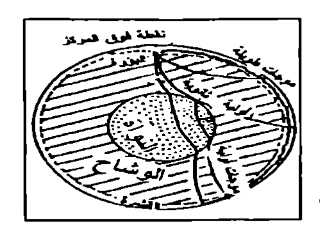
ا- موجات أولية. ب- موجات ثانوية. جـ- موجات طويلة.

• تعيين موقع الزلزال Locating Earthquakes

تستخدم البيانات الكافية التى يحصل عليها من السيزموجرام خلال حدوث الزلزال، لتحديد مكان حدوثه على سطح الأرض. ومن خلال هذه البيانات يحدد أخصائى الزلازل (السيزمولوجى) seismologist بؤرة الزلزال (نقطة داخل الأرض تبدأ منها الموجات السيزمية) وكذلك موقع «نقطة فوق المركز epicenter»؛ وهى نقطة على سطح الأرض تقع مباشرة أعلى البؤرة. ويعين السيزمولوجى ذلك بعمل دراسة مقارنة لسلوك الأنواع المختلفة للموجات الزلزالية، فحينما يحدث الزلزال، تنتشر الموجات السيزمية من بؤرة الزلزال فى كل الاتجاهات، وتقل شدتها ببعدها عن بؤرة الزلزال. وتختلف هذه الموجات كثيرا فى سعتها amplitude وسرعتها ve- locity. وهذه الموجات توجد منها ثلاثة أنواع: هى الموجات الأولية primary waves وتسمى أيضا باسم «الموجات P»، وهى موجات تضاغطية تنتقل خلال الأرض بسرعة تترد بين ٣,٤ ميلا إلى ٨,٦ ميلا فى الثانية الواحدة. وتتحرك الموجات الأولية بسرعة أكبر فى الأعماق وهى أول موجات تصل وتسجل على السيزموجراف. أما الموجات الثانوية secondary وتسمى «الموجات S» فتنتقل خلال باطن الأرض بسرعة تتردد بين ٢,٢ و٤,٥ ميلا فى الثانية الواحدة وهى المجموعة الثانية من الموجات التى تصل إلى محطة التسجيل السيزموجرافية، وهذه لا تمر خلال الغازات أو السوائل. وهناك الموجات الطويلة long أو «الموجات L»، وهى موجات معقدة ذات سعة كبيرة وتنتقل قرب سطح الأرض وتنشأ هذه الموجات عند نقطة فوق المركز وتتولد من الطاقة الناتجة عن الموجات الأولية والثانوية. والموجات "L" التى تنتقل ببطء نسبى (سرعتها ٢,٢ ميلا فى الثانية) هى آخر الموجات التى تسجل على الجهاز، وهى التى تتسبب فى معظم الخسائر الناتجة عن الزلزال.

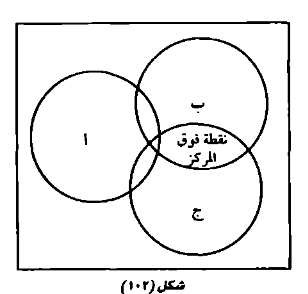
يوضح (شكل ١٠١) مسار هذه الأنواع الثلاثة من الموجات الزلزالية.

ولتعيين بعد نقطة فوق المركز، تستخدم دراسة لتحديد أزمنة الوصول النسبية relative arrival times لأنواع الموجات الثلاثة عند محطة واحدة. وإذا أمكن الحصول على تسجيلات من ثلاث محطات سيزمية متباعدة (على الأقل ٣



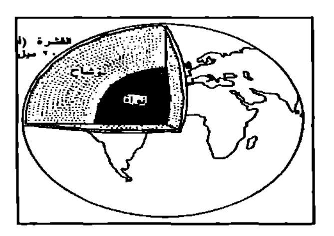
شكل (١٠١)

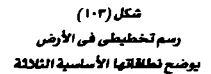
مسار الموجات التصادمية خلال الأرض



شكل (١٠٢)

تحديد موقع نقطة فوق المركز باستخدام سجلات السيزموجراف من ثلاثة مواقع على الأقل





شكل (١٠٣)

رسم تخطيطي في الأرض يوضح نطاقاتها الأساسية الثلاثة

محطات)، فيصبح فى مقدور السيزمولوجى (خبير الزلازل) تعيين موقع نقطة فوق المركز. ولكى يتم ذلك، ترسم ثلاث دوائر على خريطة، على أن تكون كل محطة رصد من المحطات الثلاث هى مركز الدائرة، والنقطة التى تتقاطع عندها الدوائر الثلاث تكون هى نقطة فوق المركز (شكل ٢-١٠).

٦-أحجام الزلازل Size of Earthquakes

يعبر عن حجم الزلزال عادة بقياس الشدة intensity وقياس المقدار mag-nitude:

•شدة الزلزال Intensity

تقيس شدة الزلزال كمية الخسائر الفيزيقية أو التغيرات الجيولوجية التى سببها الزلزال. وتكون الصدمة الزلزالية أشد ما تكون عند نقطة فوق المركز، والتى تقع على سطح الأرض فوق بؤرة الزلزال مباشرة، كما أشرنا من قبل. وتقل الخسائر كلما ابتعدنا عن نقطة فوق المركز.

ولقد وضعت عدة مقاييس للدلالة على الدرجات المختلفة لشدة الزلزال. والمقياس الذى يسمى ميركالى المعدل Modified Mercalli أو مقياس وود - نيومان Wood-Neumann يستخدم الآن على نطاق واسع. ويستخدم هذا المقياس أرقاما للدلالة على درجات الشدة المختلفة، وتتدرج هذه الأرقام من «واحد (One) i» وهذا يدل على زلزال ضعيف جدا لا يشعر به الناس وتسجله فقط الأجهزة الحساسة، ويتدرج المقياس ليصل إلى رقم «اثنى عشر XII» ، وهذا معناه زلزال تدميرى مأساوى catastrophic، وينتج عنه دمار شامل (فى الأصل كانت هناك عشرة أرقام فقط). وبمعرفة موقع نقطة فوق المركز، يتم تعيين شدة الزلزال علي خريطة باستخدام الخطوط المتساوية سيزميا isoseismal التى تصل بين المناطق المتساوية الشدة زلزاليا.

وعلى هذا الأساس، فالزلزال الذى شدته (XII) عند نقطة فوق المركز، سيكون له «أحزمة دائرية للشدة» تحيط بها وتتناسب شدة الزلزال عكسيا مع مربع المسافة عن نقطة فوق المركز.

• المقدار Magnitude

نظرا لأن المقياس الذى ذكر سابقا «ميركالى» يعتمد إلى حد كبير على التقدير الشخصى، فإن علماء الزلازل يفضلون مقياسا كميا، يعتمد على أجهزة التسجيل . ويستخدم هذا المقياس لتعيين مقدار الزلزال عن طريق تقييم الطاقة الكلية التى أطلقها الزلزال، ويسمى هذا المقياس رشتر Richter. وهو نظام يدل على مقدار الزلزال بأرقام تعبر عن الطاقة الفعلية التى انطلقت فى الأساس الصخرى.

٧- باطن الأرض Interior of the Earth

مع أن معظم العمل الأساسى لجهاز السيزموجراف، ينصب على تسجيل الزلزال، إلا أنه يعد مصدرا مهما للإمداد بالمعلومات عن باطن الأرض، وتدل البيانات التى حصل عليها علماء الزلازل عن أن الغلاف الصخرى للأرض lithosphere (انظر الفصل الأول)، قد ينقسم إلى ثلاثة نطاقات هى: القشرة crust والوشاح mantle واللب core (شكل ٣-١٠).

• القشرة Crust

هى الطبقة العلوية من الغلاف الصخرى للأرض، ويختلف سمكها كثيرا من أحواض المحيطات (يصل سمكها فى بعض الأماكن إلى أربعة أميال)، إلى القارات (من الممكن أن يصل سمكها من ٢٠ إلى ٣٠ ميل تحت جبال معينة) ويتردد الوزن النوعى للقشرة الأرضية من ٢,٥ إلى ٣,٤. ولا تختلف صخور القشرة الأرضية فى سمكها وكثافتها فقط، بل تختلف أيضا فى تركيبها، فالصخور التى توجد تحت الأحواض المحيطية تكون أثقل من تلك التى توجد أسفل القارات، وتسمى السيما sima، نظرا لأنها غنية فى محتوى السليكون والمغنسيوم - وهذه الصخور هى من الأنواع البازلتية أساسا.

أما المواد التى تكون القشرة القارية، فتبدو أنها تتكون من طبقتين محددتين، والطبقة العلوية منها ذات طبيعة جرانيتية. ونظرا لاحتواء هذه الصخور على نسبة عالية من السليكون (Si) والألومنيوم (Al)، فإنها تسمى السيال sial.

وتدل النتائج التى أمكن الحصول عليها من سرعات الموجات الأولية والثانوية على أن الطبقة السيالية يتردد سمكها بين ١٠ و ١٥ ميلا. أما الطبقة

السفلية، والتي يتردد سمكها بين ١٠ و ١٥ ميلا أيضا، فتكون من صخور سيماتية simatic مشابهة للصخور التي توجد أسفل أحواض المحيط.

ويتميز قاع القشرة الأرضية بوجود انقطاع واضح ومحدد يسمى انقطاع موهوروفيتشيك Mohorovicic Discontinuity أو موهو «Moho». وكان أول من أشار إلى وجود هذا الانقطاع هو العالم أندريا موهوروفيتشيك عام ١٩٠٩، وهو عالم زلازل يوغوسلافي. وأوضح أن هذا الانقطاع يقع تحت سطح الأرض عند عمق يتردد بين عشرين وثلاثين ميلا. وهناك تزداد سرعة الموجات الأولية والثانوية مما يدل على تغير في كثافة الصخور أسفل «الموهو» Moho .

• الوشاح Mantle

يوجد الوشاح أسفل انقطاع موهورفيتشيك وسمكه ١٨٠٠ ميلا وهو المنطقة المتوسطة في الغلاف الصخرى. وتتزايد سرعات الموجات الأولية والثانوية بالتدريج عند دخولها منطقة الوشاح الصخرى. ويدل هذا السلوك على أن الوشاح يتكون أساسا من صخور صلبة تزداد كثافتها بزيادة العمق. وتتردد الكثافة النوعية للصخور فى هذا النطاق من ٣,٥ (فى الجزء العلوى من الوشاح) إلى حوالى ٨ عند القاع.

• اللب Core

هو قلب الأرض أو نواتها ويبلغ قطره حوالى ٤٣٠٠ ميل (٦٨٠٠ كيلو متر)، وهو ساخن جدا ووزنه النوعى ثقيل ويقع تحت ضغوط هائلة. وينقسم إلى جزئين: جزء خارجى، ربما يكون سائلا، ويسمى اللب الخارجى outer ocore، وجزء داخلى يسمى اللب الداخلى inner core ويعتقد أنه فى الحالة الصلبة. ويبدأ اللب الخارجى من عند قاعدة الوشاح (وسمكه حوالى ١٨٠٠ ميل)، ويصل إلى عمق ٣١٦٠ ميلا تقريبا. ويعتقد أن الطبقة الخارجية للب الأرض سائلة، لأن الموجات الثانوية لا تنفذ من خلال هذه الطبقة، وتنتقل الموجات الأولية (أ) بسرعة أقل، ويعتقد أن سمك اللب الخارجى يبلغ ١٣٠٠ ميل، وتبلغ كثافة المواد المكونة له حوالى ١٢ أو أكثر. أما طبقة اللب الداخلى inner core فيبلغ قطرها ١٧٠٠ ميل بالتقريب، ويعتقد أنها صلبة. إذ إن سرعة الموجات الأولية تزداد فجأة كلما تعمقت داخل طبقة اللب. ويعتقد العلماء أن الطبقة الداخلية للنواة قد تكون أساسا من النيكل والحديد، وهى مواد ثقيلة جدا وقد يصل وزنها النوعى إلى أكثر من ١٧.

الفصل الثانى عشر

السهول والهضاب والجبال

PLAINS , PLATEAUS AND MOUNTAINS

القارات وأحواض المحيطات هى الأشكال البرية الرئيسية، وتعد من المعالم التضاريسية ذات المرتبة الأولى. وقد تعرضنا لها بالدراسة فى الفصول السابقة. والآن سنتناول فى هذا الفصل المعالم التضاريسية من المرتبة الثانية والتى تتمثل فى السهول والهضاب والجبال.

١-السهول Plains

السهول مثل الهضاب، (والتى سنناقشها فيما بعد)، توجد تحتها طبقات منبسطة من الصخور. لكن السهول والهضاب تختلف عن الجبال فى ارتفاعها النسبى عن مستوى سطح البحر وكذلك فى كم التضاريس الموجودة. وتوجد معظم السهول تقريبا - وليست كلها - بالقرب من مستوى سطح البحر. ولا يتعدى ارتفاع تضاريسها مئات قليلة من الأقدام فى معظم الأحوال.

وتقسم السهول إلى أنماط مختلفة على أساس أصل المواد الصخرية التى تكونت منها.

• السهول البحرية أو الساحلية Marine or Coastal Plains

تكونت السهول البحرية الداخلية، مثل سهول وادى المسيسبى العلوى نتيجة لعملية الرفع مع قليل من الطى والالتواء أو بدونهما. أما السهول الساحلية مثل سهول الأطلنطى بالولايات المتحدة الأميركية فتكونت نتيجة لعملية بروز emergence أرضيات البحر الضحل.

• سهول البحيرات Lake Plains

تسمى أيضا السهول البحيرية lacustrine . وتكونت هذه السهول نتيجة لعملية بروز أرضية البحيرة . والتى قد تنكشف نتيجة لعملية التبخير والرفع، أو نتيجة لعملية الصرف وهى الأكثر شيوعا . ويشيع وجود مثل هذه السهول فى أميركا الشمالية وفى أستراليا .

• السهول الطميية،سهول الأنهار Alluvial Plains , River Plains

تكون هذه السهول فى وديان الأنهار كسهول فيضانية وسهول دلتاوية عند مصبات النهار، أو سهول طمية عند أقدام الجبال (سلسلة من التلاع)، (انظر الفصل السابع). وكلمة طمية Alluvial تعنى أنها تتكون من طمى ورمل أو رواسب أخرى). ومعظم هولندا Holland سهول طمية كونها نهرالراين .

• السهول الثلجية Glacial Plains

تكون السهول المثلجية بطريقتين: قد تؤدى عملية التحات بالجليد إلى تسوية سطح الصخور الأفقية التى توجد تحت المثلجة فى منطقة ما . وفى مناطق أخرى، قد ترسب مكتسحات السهول outwash plains فى جبهة المثلجة (انظر الفصل الثامن).

• سهول اللابة Lava Plains

قد تكون سهول واسعة الانتشار من انسياب اللابة lava flow، إما من البراكين الهادئة أو من طفح اللابة من الشقوق الكبيرة . وتوجد أمثلة جيدة لهذا النوع من السهول فى جزر هاواى وأيسلندا .

٢- بعض السهول البريطانية Some British Plains

• سهل سالزبورى Salisbury Plain

يعد هذا السهل من السهول المشهورة جدا (ويطلق عليه البعض اسم هضبة) وهو عبارة عن منطقة كبيرة عالية تتكون من الطباشير تحيط حوض هامبشاير . Hampshire

• السهل الأيرلندى Irish Plain

يشغل هذا السهل معظم وسط أيرلندا، وهو فى الواقع هضبة منخفضة low-lying plateau. ويوجد الحجر الجيرى أسفله، ونظرا لأنه سهل ثلجى مناخه رطب جدا، وإن هذا الجزء من أيرلندا معظمه مستنقعات، فمن المحتمل أن يكون هذا السهل الأيرلندى قد تطور من بحيرات ما بعد الفترة الجليدية.

• سهل مدلاند Midland Plain

يوجد هذا السهل جنوب لنكولنشاير Lincolnshire وهو منطقة طمية تكونت نتيجة لتغيرات حدثت فى مجارى الأنهار كنهرى أوس وويلاند Ouse Welland.

• سهل شيشاير Cheshire Plain

يوجد أسفل هذا السهل قعيرة كبيرة من الدور الترياسى مملوءة بالملح، ويتميز هذا السهل بوجود المستنقعات التى تكوّن بعضها نتيجة للهبوط الذى نشأ بعد استخلاص الملح.

٢- الهضاب Plateaus

هى مساحة كبيرة مسطحة ذات ارتفاع ملموس، تغلفها طبقات من الصخور الأفقية. وعلى النقيض من السهول التى تمثل تضاريس منخفضة، فإن الهضاب تمثل تضاريس عالية. وغالبا ما توجد خوانق ووهاد على سطح الهضبة. ومعظم الهضاب تعلو بأكثر من ألفى قدم فوق منسوب البحر، وبعضها مثل هضبة كولورادو وهضبة التبت ترتفع بأكثر من ميل فوق منسوب سطح البحر.

• هضاب الصدوع Fault Plateaus

فى بعض المناطق تتعرض السهول الموجودة إلى التصدع الرأسى المستمر، الذى يرفع هذه السهول إلى ما فوق منسوب سطح البحر. وتتكون هضاب الصدوع من سلاسل من كتل الصدوع الأفقية المرتفعة. ومن أمثلة هضاب الصدوع، هضبة كولورادو وهضبة شرق أفريقيا التى تعد أكبر هضبة من هذا النوع وهى مجزأة بوديان خسفية.

• هضاب الرفع Warped Plateaus

قد ترتفع بعض الهضاب نتيجة لعمليات الرفع uplift البطيئة التى تصاحبها عملية تصدع صغيرة، أو قد لا يكون هناك تصدع بالمرة. وتعد هضبة الأبلاش بشرق الولايات المتحدة الأمريكية مثالا لهذا النوع من الهضاب.

• هضاب اللابة Lava Plateaus

تتكون هضاب اللابة عندما تنساب اللابة أفقيا ويتراكم بعضها فوق بعض لتكون منطقة مرتفعة. وتوجد هضبة لابية تمتد من أنتريم Antrim فى أيرلندا إلى أجزاء من أيسلندا وجرينلاند. وأكبر الهضاب اللابية هى هضبة الدُّكان Deccan فى جنوب الهند، وكذلك هضبة نهر كولومبيا فى الشمال الغربى للولايات المتحدة، وترتفع كل منهما آلاف الأقدام فوق منسوب سطح البحر. وتمتد كل هضبة لتغطى مساحة تزيد على ٢٠٠ ألف ميل مربع.

٤ - الجبال Mountains

الجبال مناطق ذات تضاريس واضحة وذات ارتفاعات عالية، ولها منطقة قمّية صغيرة ترتفع بوضوح تام فوق المناطق المحيطة بها. وهناك بعض الجيولوجيين الذين يخصصون كلمة جبال للمناطق التى تتحرف فيها الصخور أو تضطرب، وفى هذا المجال لا بد أن نستبعد الجبال التحاتية erosional mountains، التى تكونت فوق الهضاب الشديدة التمزق. والجبال التى تتجمع فى مجموعات حيود مترابطة لتكون وحدة متصلة، تسمى سلسلة جبلية. والمنظومة الجبلية mountain system هى مجموعة سلاسل جبلية لها تاريخ جيولوجى مشترك. والسلسلة الجبلية هى وحدة طولية تتكون من عدة منظومات جبلية mountain systems، بغض النظر عن تشابهها فى الشكل أو علاقات العمر الجيولوجى.

٥ - أصل الجبال Origin of Mountains

قد تنشأ الجبال نتيجة للنشاط النارى (تدخلات نارية فى الأعماق أو بفعل البراكين)، أو بفعل الحركات الأرضية «التكتونية». وتصنف الجبال على حسب نوع القوة التى كونتها إلى الأنواع التالية:

• الجبال البركانية Volcanic Mountains

تسمى الجبال التى نتجت عن النشاط النارى النابط extrusive igne-ous activity باسم الجبال البركانية (شكل ١٠٤ أ). وهذه الجبال قد تتكون من قصبات بركانية volcanic necks (مثل كاسل روك Castle Rock عند سترلنج فى اسكتلندا)، أو تتكون من طبقات قمعية من كُسارة مواد نارية fragmented Igne-ous materials حول عنق مركزى بركانى (مايون Mayon، فى جزر الفلبين)، أو نتيجة لتراكم التدفقات اللابية حول عنق بركانى مركزى(أيلدون هل Eildon Hill فى اسكتلندا)، أو القباب البركانية. وهناك أمثلة من هذه الأنواع الأربعة توجد فى جزر هاواى. وأشهر الجبال فى العالم وأعظمها، يرجع أصلها إلى النشاط البركانى، وهذه تشمل جبل إتنا Etna وفيزوف Vesuvius فى إيطاليا، وفيوجى ياما Fujiyama فى اليابان وكذلك بوبوكاتبتيل فى المكسيك، كذلك فإن جزر هاواى وألوتيان Aleutian هى قمم لسلاسل جبال بركانية ترتفع من أرضية المحيط.

• الجبال المطوية Folded Mountains

قد تسبب الاضطرابات القشرية فى انثناء الطبقات وتضاغطها لتنحنى إلى أعلى آلاف الأقدام (شكل ١٠٤ ب) والطى الذى ينشأ عادة بفعل عملية تضاغط لطبقات الصخر قد يصاحبه عملية تصدع. وعلى هذا فقد تتكون السلاسل الجبلية من حنائر (anticlines) تتبادل مع قعائر (synclines). وتعد سلسلة جبال يورا Jura فى فرنسا وسويسرا من الأمثلة الكلاسيكية للجبال المطوية. وسلسلة الجبال الأبلاشية Appalachian الموجودة فى شرق الولايات المتحدة تعد من الأمثلة الواضحة لنماذج الجبال التى تكونت بفعل عمليات الطى المصاحبة لعمليات التصدع. ويعرف هذا النوع من السلاسل الجبلية بأنه معقد الطى complexly folded.

ومن أمثلة هذا النوع أيضا من الجبال المطوية، جبال الألب Alps والهيمالايا Himalayas والأنديز Andes وسلسلة جبال روكى Rocky Mountains.

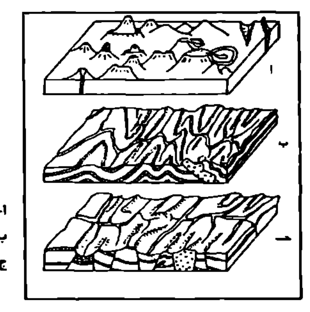
وهناك بعض النظريات التى تعرضت لتفسير أصل القوى التضاغطية للطى، وقد ورد ذكرها فى الفصل الخامس.

وقد تسبب التدخلات النارية فى رفع الطبقات إلى أعلى لتكوّن قبابا عريضة broad domes . وينشأ مثل هذا النوع من الجبال حينما تغزو الصخور المنصهرة طبقات الأساس الصخرى bedrocks، فتدفع الطبقات التى تعلوها إلى الانحناء إلى أعلى.

وتعد اللاكوليثات laccoliths هى المتدخلات النارية الأكثر شيوعا فى تكوين القباب التى من هذا النوع. ويعتقد أن جبال هنرى Henry Mountains فى يوتا هى قباب لاكوليثية laccolithic domes، ومع ذلك فليست كل الجبال القبابية يرجع أصل تكوينها إلى اللاكوليثات. فمثلا جبال التلال السوداء Black Hills فى جنوب داكوتا لها بنية قبابية عريضة ونواة جرانيتية granitic core، لكن لا يعتقد أنها تكونت بفعل اللاكوليث. وبرغم أن جبال كورندون فى شروب شاير لا تعد جبالا بالمعنى الحقيقى إلا أنها تعد من الأمثلة الممتازة للتلال القبابية الشكل التى تكونت بهذه الطريقة.

• **جبال الصدوع أو الجبال الكتلية Fault or Block Mountains**

قد تؤدى عملية التصدع إلى رفع كتل ضخمة من القشرة الأرضية أو إلى إمالتها بروايا مختلفة(شكل ١٠٤ جـ)، وعلى هذا فإن الكتل الجبلية المتصدعة



شكل (١٠٤)
انواع الجبال
ا- بركانية.
ب- مطوية.
ج- صدع او كتلة.

يكون انحـــدارها شـديدا وقصـيرا على أحـد الجوانب، وعلى الجانـب الآخر يكون الانحدار أقل شـدة وأطول. وتعد جبال Vosges وجبال الغابة الــسوداء Black Forest من صدوع التق horst التى لم تحدث فيــها إمالة للكتل المتصدعة. أمـا جبال البناين Pennines فــجزء منهـا يتكون من كـتل مـائلة، تميل بلطف ناحـية بحـر الشـمال.

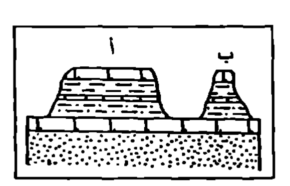
• **الجبال المعقدة Complex Mountains**

تكوّن كثير من الســلاسل الجبلية المعروفة فى العالم نتيجـة لعمليات النـشاط النارى والحركات التكتونية معا.

ونظرا لتعقد التاريخ الجيولوجى لها، فـقد سميت بالجبال المعقدة complex mountains . وربما تظهرهذه الجبال شواهد على عمليات الطى والتصدع. والنـشـاط البركـانـى، والتدخل النارى، والتـقـبب doming. ويتكون بعض من هذه الجبال المعقدة من الصخـور النارية كلية، بينما تتكون جبال أخرى من صخـور متحولة أو من صخـور رسوبية مـتحرفـة بدرجة قليلة. والمناطق الجبلـية فى اسكتلندا من نوع الجبال المعقدة، فهى مطوية ومتصدعة بشكل مذهل.

٦- المخلفات التحاتية Erosional Remnants

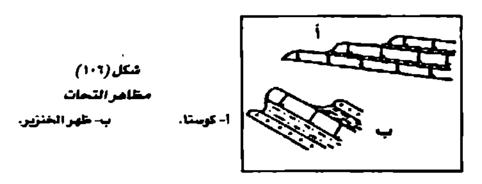
الجـبال الـتحـاتـيـة أو الجـبال المـتخلفـة residual mountains هى ظواهر طوبوغرافية مـعينة ترتفع بوضوح فوق ما يحيط بها، لـكنها لا تتكون من صخور متحرفة. وهى بقايا الأراضى العالية التى تعـرضـت لعمليات تحات مـستمرة وممتدة. وتتكـون مثـل هـذه المعالم على الهضاب العالية الممزقة بشدة. وتشمل الميـسا Mesas (شكل ٥ ١٠ أ) والبـوت Butte (شكل ٥ ١٠ ب) والأولى لهـا قـمـم مـسطحـة



شكل (٥-١٠)
بقايا التحات
أ- هضبة (ميسا).
ب- هضبة منعزلة (بوت).

وعريضـة، أما الثانية فـهى تلال أصغر حـجما وجوانبـها أشـد انحدارا ولهـا قمم ضيقة.

وتشيع تلال ميـسا فى بريطانيا وبخاصـة فى الأراضى الوسطى Midlands وحول كوتـسوالدز Cotswolds، ولعل أشهرها تلك الموجودة فى جبل تيـبول Table Mountain بالقرب من كـيب تاون فى جنوب أفريقـيا، والبوتات Buttes (جمع بوت) شائـعة كذلك فـى جنوب أفريقـيا، وتعرف هنـاك باسم كوبجـيز Kopjes (شكل ١٠٦). وحينما تحدث إمـالة للطبقات الرأسيـة القائمـة فإنها تـسمى كوسـتا Cuesta أو ظهـور الخنـازير Hog's Backs (شكل ١٠٦). ويـشـيـع وجـود الكوسـتات فى المناطق التى يوجد فيها الحجر الجيرى متبادلا مع طبقات الطفلة كما فى منطقة بيك Peak District. وكذلك توجد كـوسـتات شهيـرة فى منطقة سارى Surrey بين فارنهـام وجلدفورد، حيث تـتكون من حيد طبـاشيرى بين طبـقات صلصالية رملية رخوة.



شكل (١٠٦)
مظاهر النحات
ا- كوستا. ب- ظهر الخنزير.

وتوجد بقـايا صخـور منعزلة تكونت بعـمليات النـحات تـسمـى مونادنوك Monadnock، وهى بقـايـا سـلاسـل جـبليـــة قـديمـة، ويشـيـع وجـودها فى أستراليـا. وترجع التـسمـيـة إلى جبل مونادنوك، وهو جبـل متبق فى نيوهامـبشاير بالولايات المتحدة الأميركية.

الفصل الثالث عشر

الچيولوچيا والإنسان

GEOLOGY AND MAN

يستخدم الإنسان المعلومات الچيولوچية والثروات التى يستخرجها من الأرض فى شتى المجالات. ويعتمد الاقتصاد الصناعى الحديث على استغلال جميع المواد الموجودة فى الأرض، ولذلك فإن مهمة الچيولوچى أن يمد المدنية الحديث بالوقود المعدنى والخامات والمعادن الاقتصادية الأخرى، التى تعد ضرورية للغاية فى عمليات التنمية الصناعية. وفى هذا الفصل سوف نلقى الضوء على بعض المعلومات عن طبيعة وأهمية بعض ما نستخرجه من الأرض من منتجات ذات قيمة اقتصادية عالية، وكيف استغل الچيولوچيون والمهندسون المعلومات الچيولوچية فى مجال البترول والتعدين وغيرها من فروع الچيولوچيا، وكيف استطاع الإنسان أن يغير وجه كوكب الأرض باستغلال المواد المستخرجة من الأرض.

ويحقق علم الچيولوچيا أحد أهم إنجازاته فى مجال الاستكشاف والتنمية والحفاظ على المصادر المعدنية الطبيعية التى تشتمل على الوقود الحفرى fossil fuel والمعادن الفلزية واللافلزية والصخور والمعادن التى تستخدم فى الصناعة.

١ - الوقود الحفرى Fossil Fuel

يعد الوقود الحفرى (الفحم والبترول) من أكثر المنتجات أهمية وقيمة للصناعة الحديثة. وكلمة «حفرى fossil» التى تصف الوقود، سواء منه الفحم أو البترول، تدل على أنهما قد نتجا من مخلفات الحياة فى الماضى.

• الفحم Coal

وقود حفرى أصلة نباتى، يوجد فى أنواع معينة من الصخور الرسوبية، ويتكون من الكربون والهدروجين والأكسجين والتروجين، لكنه يحتوى فى العادة على كمية من الكبريت وكذلك السليكا وأكسيد الألومنيوم فى صورة شوائب. ويتكون الفحم نتيجة لعملية التكربن أو التفحم carbonization، وهى عملية تتحلل فيها المواد النباتية حيث تفقد الماء والمواد المتطايرة مما يؤدى إلى تركيز الكربون (انظر الفصل الخامس عشر أيضا) وفى الفصل الرابع من هذا الكتاب يوجد شرح للأنواع المختلفة للفحم وطرق تكوينها. والفحم ليس موجودا بوفرة وحسب، بل إنه واسع الانتشار فى العالم؛ وتعد ألمانيا والولايات المتحدة وبريطانيا العظمى أهم دول العالم فى إنتاج الفحم.

وينشأ معظم الفحم من بقايا نباتات الدور (العصر) الكربونى. ويستخرج الفحم فى بريطانيا من وادى مدلاند Midland Valley فى اسكتلندا ونورثمبرلاند Northumberland ودرهام Durham وكمبرلاند Cumberland ولانكشاير Lancashire ويوركشير Yorkshire ودربى شاير Derbyshire ونوتنجهام Nottingham وليستر شاير Leicestershire وستافورد Stafford وشوربشاير Shorpshire وشمال وجنوب ويلز Wales وكنت Kent. وبالرغم من أن البترول قد حل مكان الفحم فى كثير من الأغراض الصناعية، إلا أن بريطانيا مازالت تنتج كل عام ١٥٠ مليون طن من الفحم.

• البترول Petroleum

يعتقد معظم الجيولوجيين أن البترول (الزيت والغاز) قد تكون أصلا من بقايا النباتات والحيوانات البحرية الدقيقة التى دفنت فى الطين والرمال فى البحار الضحلة التى كانت موجودة فيما قبل التاريخ والتى تحللت تدريجيا بواسطة البكتيريا، مخلفة بقايا من مركبات هدروكربونية. وبالرغم من أن العمليات التى تحولت عن طريقها المواد العضوية إلى بترول، ليست مفهومة بدقة، إلا أنه من المؤكد، أن هذه العمليات استغرقت وقتا طويلا جدا، مصحوبا بتزايد فى درجة حرارة الرواسب وتضاغطها.

ويعد أن يتكون البترول ينتقل من الطين والطفلة التى تكون فيهما إلى صخور أكثر مسامية، ثم يهاجر إلى بنيات صخرية ملائمة لتجميعه. وتسمى الصخور التى تكون فيها الغاز والزيت باسم صخور المصدر source rocks، وتكوّن فى العادة الصلصال الأدكن اللون والطفلة ذات المحتوى العالى من المواد العضوية. وتسمى الصخور المسامية والمنفذة porous and permeable صخور المكمن reservoir. وتعد الرمال والأحجار الرملية والحجر الجيرى المسامى والدولوميت من صخور المكامن الفعالة. أما المصايد traps فهى مناطق فى صخور المكمن تُوقف هجرة الزيت أو الغاز وتسبب فى تجمعه بمكانه. ومن المصايد المهمة، الطيات المحدبة (الحنائر) والصدوع وقباب الملح.

ولكى تتكون بركة بترول oil pool (طبقة مسامية أو صخر مشبع بالزيت)، فلا بد أن يتوافر:

أ - طبقة مصدر source bed.

ب - صخر مكمن reservoir rock .

جـ - مصايد أو بنيَات traps or structures .

والمهمة الأساسية للجيولوجى الذى يعمل فى مجال البترول أن يحدد أماكن هذه المصايد التى تكون مناسبة لوقف هجرة الزيت أو الغاز، ويتم ذلك بطرق عديدة، فيقوم الجيولوجى بدراسة الخرائط الليثولوجية للصخور المتكشفة على السطح وقد يقوم بفحص كسارة الصخر fragments التى تأتى إلى السطح من الحفر الاستكشافى. وبالإضافة إلى ذلك فإن كثيرا من شركات البترول تستخدم وسائل جيوفيزيقية للبحث عن البترول. ويتطلب مثل هذا النوع من البحث والتنقيب نوعا من السيزموجراف يشبه ذلك الذى يستخدم لقياس الزلازل (انظر شكل ٩٨). وتعتمد الطريقة الفنية المعروفة باسم التنقيب الجيوفيزيقى على إحداث هزات أرضية باستخدام مواد متفجرة، ويسجل السيزموجراف المسار الذى تسلكه الموجات الناتجة عن هذه الهزات السيزمية الصناعية أثناء انتقالها عبر الصخور. ومن التسجيلات السيزمية، يمكن الاستدلال على نوعية الصخور الموجودة، وكذلك أعماقها التقريبية، كما يمكن معرفة إمكانية وجود مصايد بترولية مناسبة.

ويوجد البترول فى أماكن كثيرة من العالم وفى صخور يتردد مدى العمر فيها من الكمبرى Cambrian حتى الثالث المتأخر Late Tertiary . وفى بعض المناطق، ينتج الزيت من آبار لا تبعد عن سطح الأرض سوى أقدام قليلة. بينما فى أماكن أخرى، يستخرج البترول من آبار تبعد عن سطح الأرض أميالا عديدة. ويزيد إنتاج البترول فى الولايات المتحدة عن إنتاج البترول فى كثير من الدول مجتمعة، وتعد ولاية تكساس هى المنتج الرئيسى للبترول فى الولايات المتحدة الأميركية.

ومن أهم الدول المنتجة للبترول أيضا، الاتحاد السوفيتى (سابقا) ورومانيا ودول الشرق الأوسط (المملكة العربية السعودية وإيران والعراق) وأندونيسيا وفنزويلا وكولومبيا ودول أخرى فى أميركا الجنوبية. وكندا والمكسيك أيضا تعدان من الدول المنتجة للبترول. وتوجد بعض التجمعات البترولية القليلة فى أجزاء من بريطانيا. وحقل البترول الموجود في يوركشير لم يثبت بعد أنه جدير بتكاليف استخراج البترول منه. لكنه توجد بئر بترولى صغيرة تقع شمال نوتنجهام، تنتج عشرات الآلاف من أطنان الزيت سنويا. لكن الاكتشا ات ذات المغزى الاقتصادى الكبير هى تلك التى أنجزت تحت سطح بحر الشـ ال منذ بضع سنوات، وبدأ توزيع الغاز عن طريق شبكة من الأنابيب، تتصـ ل بالأجهزة التى تعمل بالغاز. ويجرى، حاليا تطوير واستغلال حقول البترول الكثيفة التى ستحل مشكلة توفير الطاقة للبلاد لعشرات السنين المقبلة. وقد اكتشف أخيرا زيت وغاز طبيعى فى أستراليا.

وفى سبتمبر عام ١٩٦٩ عرضت أراضٍ «بالقرعة» لأول مرة فى الاسكا للتنقيب عن البترول فيها، ودفعت فيها مبالغ فلكية فى مزاد غريب الشأن، بلغ إيراده بلايين الدولارات.

٢- المعادن الفلزية Metallic Minerals

تشمل المعادن الفلزية والخامات المعدنية، المواد القيمة مثل الألومنيوم والنحاس والذهب والرصاص والزئبق والفضة والقصدير والزنك والحديد والنيكل، كذلك فإن المعادن المشعة مثل اليورانينيت uraninite (أو البتشبلند)

والكارنوتيت carnotite تعد من المعادن المهمة. وتوجد في الفصل الثاني من هذا الكتاب معلومات عن أماكن وجود أهم المعادن الفلزية واستخداماتها وكذلك صفاتها الفيزيقية والكيميائية. وتوجد المعادن الفلزية في الصخور النارية والرسوبية والمتحولة. كما أن الخامات الفلزية توجد في صورة عروق معدنية، وتتكون بعض العروق المعدنية عندما ترسب المياه الأرضية بعضا من المعادن الفلزية التي تحملها، في فجوات الصخور. وهناك نوع آخر من المعادن الفلزية يرتبط بالنشاط الناري، ويتكون عندما تحقن الصهارة في صخور المنطقة. وهذا النوع الأخير يرتبط بمناطق التحول التماسي (انظر الفصل الخامس) على طول حافات المتداخلات النارية. وتوجد في بعض المناطق تركيزات متخلفة residual concentratiors من خامات نتجت عن عملية التجوية الكيميائية، مثل خامات الألومنيوم القيمة (البوكسيت) التي تكونت نتيجة لتجوية أنواع معينة من الصلصال والجرانيت أو صخر السيانيت syenite، التي تحتوى على كميات كبيرة من الألومنيوم. كذلك فإن بعضا من أضخم رواسب الحديد في العالم، يعتقد أنها تكونت بنفس هذه الطريقة.

وتوجد المعادن الفلزية أيضا في تركيزات طبيعية ميكانيكية تسمى رواسب البرقة placer. وهناك تراكمات لمثل هذه الخامات في الرمال والجراول في طبقات مجاري الأنهار التي نحتت وفتت الصخور التي كانت توجد فيها هذه الفلزات أصلا. فهناك الذهب في مجرى نهر ساكرامنتو Sacramento بكاليفورنيا، وكذلك الذهب (مع البلاتين) الذي يوجد في جراول جنوب أفريقيا، والقصدير الذي يوجد في جراول بالملايو. وهناك أيضا اللافلزات الثمنية مثل الألماس في جنوب أفريقيا. هذه بعض الأمثلة لرواسب البرقة التي تستغل في الوقت الحاضر. كذلك توجد بعض الرواسب المعدنية التي تبدو أنها نتجت عن ترسيب المعادن في بحيرات وبحار ما قبل التاريخ، وتشمل هذه الرواسب بعض أضخم رواسب الحديد في الولايات المتحدة وفرنسا وكذلك رواسب المنجنيز الهائلة في روسيا.

وحاليا يستخدم جيولوجي المناجم المدرب جيدا تقنيات جيوفيزيقية وجيولوجية كثيرة وأجهزة متطورة مختلفة لتحل محل الطرق التقليدية القديمة لالتقاط الذهب من أماكنه.

٣- الصخور والمعادن الصناعية أو اللافلزية

Non-Metallic or Industrial Rocks and Minerals

بالإضافة إلى الوقود الحفرى والمعادن الفلزية، توجد مجموعة مهمة من الصخور والمعادن تستخدم لأغراض كثيرة وليس بسبب ما تحتويه من فلزات. ومن أمثلة تلك المواد القيمة، الأسبستوس (الصخر الحريرى) والكوارتز والرمال والصلصال والأسمنت والمخصبات المعدنية والملح والجير والكبريت. ومن المواد اللافلزية المستخدمة، أحجار البناء والزينة مثل الحجر الرملى والجرانيت والحجر الجيرى والملح والرخام، وكلها ذات أهمية اقتصادية. وقد سبقت دراستها فى فصول متقدمة من هذا الكتاب.

٤- الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology

الجيولوجيا الهندسية هى تطبيق علم الجيولوجيا لحل مشاكل عديدة مهمة وعمليات مؤثرة فى الهندسة المدنية. مثال ذلك إقامة السدود والقناطر والقنوات والخزانات والأنفاق والمبانى الشاهقة الارتفاع، وكذلك البنيات الثقيلة، وكلها لا يمكن إنجازها بنجاح بدون تفهم بعض المشاكل الجيولوجية الأساسية. ولسوء الحظ فإن هذه الحقيقة قد لا تؤخذ دائما فى الاعتبار، ويترتب على ذلك حدوث العديد من الانزلاقات الأرضية وانهيار السدود والأنفاق. وقد يكون السبب فى ذلك ممارسات هندسية خاطئة لم تأخذ فى حسابها الظروف الجيولوجية ومشاكلها ومحاولة حلها.

٥- الإنسان، العامل الجيولوجى Man , the Geologic Agent

فى فصول سابقة، تعرضنا بالدراسة إلى عوامل جيولوجية كثيرة مثل الماء والجليد والجاذبية والبحر، لكننا لم نتحدث عن عامل مهم وهو الإنسان. فمنذ ٣٥ ألف سنة مضت، بدأ النوع البشرى *Homo sapiens* يطأ الأرض. وبدأ يغير العالم المحيط به. ولقد تحدثنا عن أثر أنشطة الإنسان فى البحيرات والسدود والخزانات. والخزانات الموجودة فى بريطانيا، بما فى ذلك الخزانات التى تقع فى جبال ويلز،

والتى تمد بريطانيا باحتياجات الصناعة من الماء، تعد ضئيلة بمقارنتها بما يستحدث من بحيرات اصطناعية فى أفريقيا وفى أماكن أخرى من العالم. ويقوم مشروع الجبال الثلجية snowy mountains، الذى بدأ فى أستراليا منذ ٢٥ عاما وأوشك على الانتهاء، بتحويل ٣٠٠٠ ميل مربع من الجبال ذات المناظر الخلابة إلى بحيرة ضخمة يطلق عليها اسم إيوكامبين Eucumbene ، وقد استلزم ذلك تحويل مجارى ثلاثة أنهار ضخمة. ويوجد فى بريطانيا مشروع يهدف إلى إغراق خليج موركامب الصغير وبناء خزان تحتاج إليه المنطقة بشدة.

وقد تركت المحاجر ندبا وعلامات على جوانب التلال (أحجار البناء من دارتمور Dartmoor وجبال بينيس Pennines ، وأيضا الصلصال من حوض لندن London Basin). وتؤدى المناجم المفتوحة إلى تشويه المناظر الطبيعية. ومن أمثلة ذلك مجموعة جبل عيسى Mount Isa Complex التى تمد أستراليا بالنحاس والفضة والزنك والرصاص. وكثير من محاجر الصلصال، تم إغراقها بالماء بعد أن انعدمت قيمتها الاقتصادية. ومثل هذه المحاجر كانت موجودة فى نيوود Nyewood بالقرب من بيترزفيلد فى هامبشاير Hampshire، حيث كان يوجد مصنع صغير للطوب يستخدم صلصال الجولت gault clay ، حتى أوائل الستينات. وفى المكان نفسه اكتشفت أمثلة ممتازة من الأمونيتات ammonites والجبس المتبلور ومنعقدات nodules الفوسفات والبيريت. وفى الوقت الحالى تم إغراق هذه المحاجر وأقيم عند مدخلها مصنع للزجاج. ولا يسمح حاليا بحفر المحاجر إلا إذا كانت الأرض تسمح بإنشاء بحيرة مكانها وأن تردم وتزرع بالحشائش.

وتوجد أكوام النفايات(الخبث) التى خلفها الإنسان، ملقاة تشوه جمال الريف. وهناك أيضا تلال فى الشرق الأوسط تراكمت وغطّت بعض المدن الأثرية القديمة.

ولقد ساعد الإنسان الرياح فى القيام بعملها التحاتى، وذلك بإزالته واقتلاعه للنباتات الطبيعية، وكذلك بعمليات الفلاحة التى خلفت وراءها من النفايات ما أصبح بعد سنوات قليلة نوعا من جفان التراب dust bowels.

وتتعـرض مناطق المناجم إلى عمليات الهبـوط أحيانا، ولقد سـبق أن ذكرنا بعض الظواهر التى نشأت فى وسط مـقاطعة شيـشاير Cheshire بإنجلترا، نتـيجة لضخ المياه الملحية من الطبقات تحت السطحية.

وسوف تغـير الأنشطة المتزايدة التى لـها اتصال بآبار البـترول فى ألاسكا - وجـه الحيـاة هناك. ومثل هذه المشـروعات قـد تسـبب القلق لأولئك الناس الذين يحرصون على الحفاظ على البيئة. ولقـد قام الإنسـان بالفعل بكثير من الأعمال التى أدت إلى انقراض أنواع كثـيرة من الحيوانات. ويجب التنويه إلى أن البيئة الطبـيعية مهددة بالمزيد من انقـراض الحيوانات، لكن أخيرا بدأ الإنسـان يتـعلم كيف يحافظ على مسـتقبل الحـيوانات وأيضا يتـعلم الحفاظ على المناظر والمصـادر الطبيعـية فى كوكبنا، ولو أن هذا الاهتمام جاء متأخرا بعض الشىء.

القسم الثانى
PART 2

الچيولوچيا التاريخية
HISTORICAL GEOLOGY

الفصل الرابع عشر

أصل الأرض وعمرها

THE ORIGIN AND AGE OF THE EARTH

يختص القسم الأول من هذا الكتاب بالسمات الفيزيقية للأرض وكذلك بالعمليات الجيولوجية التى تعمل فيها. وفى الفصول التالية، سوف نناقش أصل الأرض وعمرها. وسنحاول إعادة هيكلة بعض الأحداث المهمة التى وقعت فى الماضى الجيولوجى. وأخيرا، فإننا سوف نوضح كيف أن الخريطة الجيولوجية لمنطقة ما، تسجل ثروة من المعلومات الفيزيقية والتاريخية لهذه المنطقة.

١ - أصل الأرض The Origin of the Earth

من أين أتت الأرض ؟ وكيف بدأت ؟ لقد ظل الإنسان يتأمل فى مثل هذه الأسئلة منذ بداية التاريخ المكتوب. وهو مازال متحيرا فى الإجابة عن هذه الأسئلة، وما زالت المشكلة بلا حل. ولكن نتج عن ذلك عدد من الفرضيات **hypotheses**، وحتى الآن، لم يحظ أى من هذه الفروضيات بالقبول والاقتناع التام.

• الفرضية السديمية The Nebular Hypothesis

تقول هذه الفرضية إن النظام الشمسى بدأ من سديم **Nebula** «سحابة غازية ضخمة جدا ذات شكل قرصى». وقد نشأت هذه الفكرة لأول مرة عام ١٧٥٥ عندما نادى بها الفيلسوف الألمانى إيمانويل كانت **Immanuel Kant** . ثم أتى بعد ذلك عالم الرياضيات الفرنسى بيير لابلاس **Pierre Laplace** عام ١٧٩٦ فطوّر الفرضية وصاغها بطريقة علمية. وبالرغم من أن «كانت» و «لابلاس» قد توصلا إلى نفس الاستنتاج، إلا أن «لابلاس» لم يكن يعلم بعمل «كانت» السابق.

وقد افترض «كانت» و «لابلاس» أنه فى فترة زمنية من الماضى السحيق، كان يدور فى الفضاء - ببطء - سديم هائل الحجم يمتد قطره إلى أبعد من المدار الخارجى لأقصى كوكب من كواكبنا. وبدأ هذا السديم فى الانكماش مع تبرده المستمر. وتبع ذلك زيادة سرعة حركته الدائرية. وفى نهاية الأمر ازدادت سرعة حافة السديم لدرجة أن القوة الطاردة المركزية تغلبت على القوة التجاذبية فانفصلت حلقة من الغاز عن الجسم الرئيسى للسديم. واستمر السديم فى الانكماش وفى الدوران بسرعة متزايدة، واستمر انفصال الحلقات الغازية الواحدة تلو الأخرى حتى بلغ عددها عشر حلقات وتكثفت ببطء تسع من هذه الحلقات المنفصلة لتكوِّن كواكبنا التسعة. أما الحلقة السادسة من هذه الحلقات فبدلا من تكثُّفها فى وحدة واحدة، انفجرت إلى كتل كثيرة صغيرة هى الكويكبات، وبعد ذلك تكثفت كتلة السديم المركزية لتكون الشمس.

وقد لاقت الفرضية السديمية القبول ودعمها الكثير من الأدلة العلمية فى القرن التاسع عشر. ولكن البحوث التى أجريت بعد ذلك بينت أن هذه الفرضية غير مقبولة، ومن ثم تم استبعادها فى بداية القرن العشرين. وهناك اعتراضات كثيرة عليها من أهمها أن الميكانيكية التى افترضت النظرية على أنها كانت السبب فى انفصال حلقات السديم تعد مستحيلة لأن سرعة دوران الشمس على درجة شديدة من البطء بالمقارنة بسرعة دوران الكواكب.

• فرضية الكويكبات Planetesimal Hypotheis

طبقا لهذه الفرضية، كانت الشمس نجما بلا كواكب فى وقت ما فى الماضى البعيد، ومرَّ نجم آخر قريبا جدا من الشمس، مما أوجد قوة جذب هائلة، بحيث إنها كانت كافية لكى تجذب كتلا عظيمة من المادة من جانبى الشمس المتقابلين. ولما انتزعت المادة من الشمس تبردت وتكثفت على هيئة جسيمات تسمى الكويكبات Planetismals وعملت أكبر هذه الكويكبات كنوى nuclei جذبت باقى الكويكبات. وأخذت هذه الكويكبات فى الكبر تدريجيا باكتساحها الكويكبات الأخرى التى قابلتها فى مدارها حتى وصلت إلى حجمها الحالى، ثم اتخذ كل جسيم من هذه الكويكبات مداره الخاص حول الشمس. ويعتقد أن الأقمار (التوابع)

satellites قد تكونت من أجزاء صغيرة من الكويكبات كانت توجد بالقرب من النوى التى تكونت منها الكواكب.

وبالرغم من أن فرضية الكويكبات ظلت مقبولة لعقود كثيرة، إلا أن هناك اعتراضات جيولوجية وفلكية عديدة على هذه الفرضية. مثال ذلك: معظم المعلومات التى نعرفها عن بنية الأرض تقول إن الأرض كانت أساسا فى حالة منصهرة، بينما تقول فرضية الكويكبات إن الأرض كانت بدايتها كوكب فى الحالة الصلبة، هذا بالإضافة إلى أنه من المشكوك فيه أن الكويكبات قد تجمعت بعضها مع بعض نتيجة لعملية التزايد accretion، لأن تصادم هذه الجسيمات فى الفضاء الخارجى، يمكن أن يؤدى إلى تحطيمها.

• الفرضية المدية أو الغازية Tidal or Gaseous Hypothesis

تشبه هذه الفرضية، فرضية الكويكبات التى سبق ذكرها، حيث تفترض وجود شمس أصلا ومر بالقرب منها نجم زائر . وقد قدم هذه الفرضية المدّية عالم الفلك «سير جيمس جينز Sir James Jeanes» وعالم الجيوفيزيقا «سير هارولد جيفريز Sir Harold Jeffreys» فى محاولة للتغلب على بعض الاعتراضات التى واجهت فرضية الكويكبات. وقد وافق العالمان وتقبلا فكرة التصادم الذى كاد أن يحدث بين الشمس ونجم آخر، لكنهما اعتقدا أن المواد التى جذبت من الشمس خرجت منها على هيئة خيط أو ذراع طويلة شكلها أشبه بالسيجار وتتكون من غازات شمسية solar gases. ثم انفصل هذا الخيط الغازى إلى وحدات أصغر، تكثفت فى صورة منصهرة، ثم أصبحت فى نهاية الأمر كتلا متصلبة كونت الكواكب. ويرى علماء الفلك أن الخيوط الغازية لا يمكن أن تكون أجساما صلبة مثل كواكبنا؛ لأن هذه الخيوط سوف تتلاشى وتختفى فى الفضاء، فلهذا السبب ولغيره من الأسباب، لم يستمر قبول هذه الفرضية طويلا ولاقت معارضة من معظم العلماء.

• التقدم الحديث فى علم الكون Recent Advances in Cosmology

أدى التقدم الحديث فى علوم الرياضيات والفيزيقا والفلك إلى وجود تصورات حديثة عن أصل النظام الشمسى. وتعد الفرضية

الكهرمغنطيـية Electromagnetic Hypothesis التى وضعها العالم ألفينAlfven عـام ١٩٤٢ وفرضـية السحابة الـسديمية Nebular Hypothesis التـى وضعهـا العالـم فـون فـيزاكير Von Weizsacker عام ١٩٤٤ وفرضـية نوفا Hypothesis Nova التى افترضها العالم هويل Hoyle عام ١٩٤٥ وكذلك فرضية سحابة الغبـار Dust-Cloud التى وضعها العالم ويبلWhipple عام ١٩٤٧؛ كل هذه الفرضيـات أدت إلى تقديم تصور جـديد معقول عن أصل النظام الشمـسى وتكـوين المجموعة الشمـسية.

٢- عمرالأرض The Age of The Earth

والآن بعد أن تأملنا وتصورنا كيف تكونت الأرض، فلابد لنا أن نعرف متى تكونت. تتردد التقديرات الخاصة بعمر الأرض بين ستة آلاف سنة (كما قدره علماء اللاهوت Theologians) وعشـرة آلاف مليون سنة (حسب تقـديرات علماء الفلك والفيـزيقا) ومع ذلك فإن آخر الأدلة العلمـية تدل على أن عمـر الأرض أقرب ما يكون إلى ٤٥٠٠ مليون سنة.

كيف لنا أن نعرف ذلك ؟ قبل محاولة الإجابة عن هذا السؤال، لابد لنا أن نعتنى بتـفهم مـقياس الزمن الجـيولوجى geologic time scale، حيـث إن ذلك سيـاعدنـا كثيرا على فهم القدم البالغ لكوكبنا.

٣- العمود الجيولوجى Geologic Column

ومقياس الزمن الجيولوجى Geologic Time Scale

يقصد بالعمـود الجيولوجى التـابع الكلى للصخور، من أقدمـها إلى أكثرها حداثة، والتـى توجد منها فى الأرض كـلها أو فى منطقـة بعينها. وعـلى هذا فإن العمـود الجيولوجى لمنطقة معـينة يشمل كـل أقسـام الصخـور الموجودة فى تلك المنطقة. وبالرجـوع إلى العمود الجيولوجى الذى سـبق تعيينه لمنطقة مـحددة، فإن الجيولوجـى عليه أن يعرف أى أنواع الصخور التى يتوقع أن يجدها فى هذه المنطقة المحددة.

ويتكون مقـياس الزمن الجـيولوجى (شكل١٠٧) مـن مـراحل مـسماة من الزمن الجيولوجى ترسـبت خلالها الصخـور الممثلة فى العمود الجيولوجى. وتحمل

هذه المراحل الزمنية time intervals الأسماء نفسها التى كانت مستخدمة أصلا لتميز الوحدات الصخرية فى العمود. فمثلا يمكن أن نتحدث عن الدور الأردوفيشى (إذا قصدنا أن نتحدث عن مقياس الزمن الچيولوچى) أو نتحدث عن الصخور الأردوفيشية (إذا قصدنا التحدث عن العمود الچيولوچى).

مقياس الزمن الجيولوجي			
تتابع الحياة	العصر	الدور	الحقب
		الدور الرابع صفر - مليون سنة	الكاينوزوى الحياة الحديثة
		الدور الثالث ٦٢ مليون سنة	
		الطباشيرى ٧٢ مليون سنة	الميزوزوى الحياة المتوسطة
		الجوارسى ٤٦ مليون سنة	
		الترياسى ٤٩ مليون سنة	
		البرمى ٥٠ مليون سنة	الباليوزوى الحياة القديمة
		الكربونى ٦٥ مليون سنة	
		الديفونى ٦٠ مليون سنة	
		السيلورى ٢٠ مليون سنة	
		الأردوفيشى ٧٥ مليون سنة	
		الكمبرى ١٠٠ مليون سنة	
?		أحقاب ما قبل الكمبرى	
		حقب البروتيروزوى	
		حقب الأركيوزوى	
العمر التقريبى للارض يزيد على ٤٥٠٠ مليون سنة			

شكل (١٠٧)

مقياس الزمن الجيولوجى

وقد بنى العمود الجيولوجى ومقياس الزمن الجيولوجى على أساس قاعدة تعاقب الطبقات principle of superposition، وتقضى هذه القاعدة الواضحة والمهمة على أنه «فى أى تتابع صخرى، ما لم يكن قد تعرض لعمليات الانقلاب، يكون الصخر أقدم من كل الصخور التى تعلوه ويكون أحدث من كل الطبقات الصخرية التى توجد تحته، وهذه العلاقة الحقلية للصخور بالإضافة إلى الحفريات (إذا وجدت)، تعطى الجيولوجى بعض الأدلة على العمر النسبى للصخور. والعمر النسبى لا يبيّن العمر مقدرا بالسنين، لكنه يحدد العمر وعلاقته بحوادث أخرى سجلت فى الصخور. وقد أمكن أخيرا تقدير عمر وحدات صخرية معينة بالسنوات. وهذا النظام لتأريخ الصخور، بنى أساسا على وجود معادن مشعة فى الصخور (سيوصف ذلك فى نهاية هذا الفصل)، وجعل من الممكن استنباط مقياس زمن مطلق يعطينا فكرة عن الفترة الزمنية الهائلة التى مرت على تكوين أقدم الصخور المعروفة. وكذلك استخدمت هذه الطريقة للتأكد من الأعمار النسبية للوحدات الصخرية المختلفة التى كانت قد قدرت من قبل.

• وحدات مقياس الزمن Units of Time-Scale

يعد الحقب Era أكبر وحدة للزمن الجيولوجى، ويقسم كل حقب إلى و ؛ات زمنية أصغر تسمى الواحدة منها دورا period. ويقسم الدور period من الزمن الجيولوجى إلى عصور epochs تنقسم بدورها إلى وحدات زمنية أصغر هى النسق series والنطق zones ويمكن أن يقارن مقياس الزمن الجيولوجى بالتقويم calendar الذى تقسم السنة فيه إلى أشهر، والأشهر إلى أسابيع، والأسابيع إلى أيام. ومع ذلك فإن مقياس الزمن الجيولوجى يختلف عن السنين، حيث إن وحدات الزمن الجيولوجى غير متساوية فى الطول؛ وعلى ذلك فإن الجيولوجى عند تقديره لعمر نسبى لا يمكنه أن يتأكد من المقدار الدقيق للزمن الذى استغرقته كل وحدة زمنية يدرسها. ومع ذلك فإن مقياس الزمن يستخدم معيارا يمكن بواسطته مناقشة العمر النسبى للصخور والحفريات التى تضمها هذه الصخور. فمثلا، يمكن لنا أن نقرر أن حادثة معينة قد وقعت فى حقب الحياة القديمة أو الباليوزوى Paleozoic Era، بنفس المفهوم الذى نقول به إن شيئا ما قد وقع فى عهد الإصلاح.

ينقسم الزمن الجيولوجى إلى خمسة أحقاب وقد سمى كل حقب باسم يصف درجة تطور الحياة المناسبة لهذا الحقب، مثال ذلك، حقب الحياة القديمة Paleozoic يعنى الحياة (العتيقة) «ancient-life». وقد سمى بهذا الاسم نظرا لأن مرحلة الحياة وتطورها فى هذا الحُقُب، كانت بسيطة نسبيا. وفيما يلى الأحقاب الجيولوجية الخمسة والترجمة الحرفية لكل اسم:

كاينوزوى	Cainozoic	حياة حديثة	recent -life
ميزوزوى	Mesozoic	حياة متوسطة	middle - life
باليوزوى	Paleozoic	حياة قديمة	ancient - life
بروتيروزوى	Proterozoic	باكورة الحياة	fore - life
اركيوزوى	Archaeozoic	بداية الحياة	beginning - life

وفى هذه القائمة، وضع أقدم الأحقاب فى أسفلها، لأن الزمن الجيولوجى الأقدم يوضع دائما فى أسفل ثم يليه إلى أعلى الزمن الأحدث، ولهذا فإن مقياس الزمن الجيولوجى يقرأ دائما من أسفل إلى أعلى.

وتُضَم صخور الأركيوزوى والبروتيروزوى فى مجموعة واحدة فى العادة وتسمى ما قبل الكمبرى Pre - Cambrian. ويحتوى السجل التاريخى للأرض لهذه الفترة الزمنية على حفريات قليلة جدا، ولهذا فإن دراسته وتأويله interpretation تعد من الأمور الصعبة. وقد قدر أن حقب ما قبل الكمبرى يستغرق ما يقرب من ٨٥ ٪ من إجمالى الزمن الجيولوجى.

وتقسم أحقاب الباليوزوى والميزوزوى والكاينوزوى إلى أدوار periods وقد أخذت معظم أسماء هذه الأدوار من المناطق التى وصفت فيها صخورها لأول مرة. مثال ذلك صخور الدور الديفونى، درست لأول مرة فى منطقة ديفونشاير Devonshire (تتابع الصخور فى هذه المنطقة المصدر يسمى القطاع النموذج type section).

وقد قسم حقب الحياة القديمة (الباليوزوى) إلى ستة أدوار six periods من الزمن الجيولوجى. وفيما يلى قائمة بهذه الأدوار الجيولوجية وأساس تسميتها، مرتبة من أسفل إلى أعلى حسب الأقدم:

- البرمى Permian، نسبة إلى إقليم Perm فى روسيا.
- الكربونى Carboniferous، لارتباطها بالنباتات المكونة للفحم.
- الديفونى Devonian، نسبة إلى ديفونشاير.
- السيلورى Silurian، نسبة إلى قبائل سيلورز Silures القديمة فى ويلز Wales.
- الأردوفيشى Ordovicion، نسبة إلى قبائل أردوفيسز Ordovices القديمة فى ويلز Wales.
- الكمبرى Cambrian، نسبة إلى كامبريا *Cambria* وهو الاسم اللاتينى لويلز.

(فى النظام الأميركى، يضع الجيولوجيون الأميركيون دورين هما الميسيسبى Mississipian والبنسلفانى Pennsylvanian بدلا من الدور الكربونى).

وفيما يلى قائمة بأدوار حقب الحياة المتوسطة ومصادر تسميتها:

- الطباشيرى Cretceous، من كلمة *Creta* اللاتينية ومعناها طباشير.
- الجوراسى Jurassic، نسبة إلى جبال اليورا بين فرنسا وسويسرا.
- الترياسى Triassic، من الكلمة اللاتينية *Trias* معناها ثلاثة.

أما حقب الحياه الحديثة (الكاينوزوى) فينقسم إلى دورين هما:

- الدور الرابع Quaternary Period.
- الدور الثالث Tertiary Period.

واسـمـا هذين الدورين هما ما بقى من نظام تقـسيمى لم يعـد مـتخـدما، كانت تقـسم فيه كل صخور العمود الجيولوجى إلى أربع مجموعات.

• وحدات الصخور Units of Rocks

عند رسم خريطة جيولوجية أو صـورة كاملة لمنطقـة ما أو لحقب مـا، يبدأ الجيولوجى بأصغر الوحدات الصخرية وهى الطبقة bed، وتعرف بأنها أصغر جزء مسـتقل ومنفرد من الصخر. وتكوّن الطبقـات المنضمة بعضـها مع بعض النطاقات zones. وتسمى النطاقـات طبقا للحفـريات المميزة التى توجد فـيها، فمـثلا أعلى نطاق مـن الطباشـير فى بريطانيا، يـسمى نطاق ماكروناتـا Mucronata zone نسـبة إلـى وجـود حـفـرية بلمنيت فى هـذا النطاق. وهذا الطبـاشـير مـا هو إلا أحـد التكاوين formations الـذى يـوجـد فى نظام الـطبـاشـيـرى Cretaceous system. وتعد المرحلة stage وحدة متوسطة بين النطاق zone والتكوين formation مثال ذلك مرحلة الدانى Danian stage (بالرغم من عدم وجودها فى بريطانيا).

ويتكون النـسق series من تكاوين عدة، فـالطباشـيرى العلوى فى بريطانيا يشمل تكوين جولت Gault وتكوين الرمل الأخضر العلوى Upper Greensand، وتكوين الطباشير Chalk.

وغالبا يكون اسـم التكوين formation اسـما مزدوجا double name ليدل على اسـم المكان location ونوع الصـخر rock type؛ مثـال ذلك حـجر جـيرى وينلوك Wenlock Limesrone فى بريطانيـا (من الدور السـيلورى)، وهو الحـجر الجيرى الذى يكوّن «حافة وينلوك» فى شرويشاير Shropshire.

٤ - قياس الزمن الجيولوجى Measuring Geologic Time

يسـتخدم الجيـولوجيـون طرائق عديدة لتـقدير عمـر الأرض، وقد ثبت أن بعضـا من هذه الطرائق بلا فائدة، أو أنها تعطـى تقديرا تقريبيـا إلى حد كبـير فى أحسن الاحـتمالات. لكن هـناك طرائق أخرى تعطى نتائـج أكثر دقـة مثل الطرق الإشعاعية.

• ملوحة البحار Salinity of the Sea

من المحتمل أن المحيطات كانت أصلا مياها عذبة، لكنها أصبحت مِلْحَة بعد ذوبان الأملاح من التربة التى حملتها الأنهار إلى البحار. وتشير التقديرات التى أجريت لحساب عمر الأرض على أساس نسبة الملوحة الحالية فى البحار، إلى أن ملوحة البحار الحالية استلزمت فترة زمنية قدرها ١٠٠ مليون سنة. لكن هذا التقدير يعد غير واقعى نظرا لأن كثيرا من الملح قد دخل ضمن دورات ترسيبية عديدة، هذا بالإضافة إلى وجود مشاكل أخرى أثبتت أن هذه الطريقة لا يعتمد عليها.

• معدل الترسيب Rate of Sedimentation

كانت هناك فكرة تقول إنه لو أمكننا معرفة المدة الزمنية التى استغرقتها ترسيب كل طبقات الصخور فى القشرة الأرضية، لأمكننا معرفة عمر الأرض. وتجرى هذه الطريقة بقياس سمك الطبقات وضرب هذه الأرقام فى المعدل المفترض أنها تترسب به. وتشير التقديرات الناتجة عن تطبيق هذه الطريقة إلى أن عمر الأرض يتردد بين مئة مليون وستمئة مليون سنة؛ لكنه نظرا للتباين الهائل فى معدلات الترسيب والتحات، فقد ثبت أن هذه الطريقة ليست لها قيمة علمية.

• الطرق الإشعاعية Radioactive Methods

هذه أحدث الطرق وأكثرها دقة. فهناك عناصر مشعة معينة، وبالأخص اليورانيوم uranium يحدث له تحطُّم تلقائى spontaneous disintigration بمعدل ثابت لا يتأثر بالتغير فى درجات الحرارة أو الضغط أو أية عوامل طبيعية أخرى. وينطلق الهليوم Helium عند تحطم المعدن وتتكون سلسلة عناصر جديدة، تنتهى بتكوين عنصر الرصاص وهو آخر عنصر يتكون فى هذه السلسلة. وبحساب النسبة بين كمية الرصاص والكمية المتبقية من اليورانيوم فى الصخر، يمكن لنا أن نعين عمر المعدن المشع المحتوى على اليورانيوم فى الصخر.

وتقتصر هذه الطريقة بالطبع على الصخور التى تحتوى على معادن مشعة. وهناك طرق أخرى شبيهة، تعتمد على معدل اضمحلال decay عنصر الروبيديوم Rubidium وتحوله إلى الاسترونشيوم Strontium واضمحلال

البوتاسيوم Potassium وتحوله إلى أرجون Argon . وتعطى هذه الطرق نتائج دقيقة تقريبا. وقد أظهرت هذه الطرق لتقدير عمر الأرض أن عمرها ٤٥٠٠ مليون سنة تقريبا.

• طريقة الكربون -١٤ The Carbon- 14 Method

تعد هذه الطريقة من الطرائق الناجحة لتأريخ الأجسام التى يقل عمرها عن ٤٠ ألف سنة. وباختصار، فإن هذه الطريقة تعتمد على حقيقة أن كل الكائنات الحية تحتوى على نسبة ثابتة من الكربون - ١٤، وهو صورة مشعة من الكربون الذى وزنه الذرى ١٤ بدلا من الكربون ذى الوزن الذرى المعتاد وهو ١٢ . وعندما يموت الكائن الحى، يفقد الكربون - ١٤ نتيجة للاضمحلال الإشعاعى الذى يتقدم بمعدل معلوم. وهذا المعدل معناه أن نصف كمية الكربون - ١٤ تتحطم وتضمحل بعد مرور ٥,٥٦٨ سنة . ومن الممكن تعيين العمر التقريبى لعينة ما بمقارنة كمية الكربون - ١٤ المتبقية بها بكمية الكربون - ١٤الموجودة فى معظم الكائنات الحية. وتعد هذه الطريقة ناجحة جدا فى تأريخ المواد الجيولوجية والأثرية.

الفصل الخامس عشر

سجل الصخور

THE RECORD OF THE ROCKS

كيف يعرف المؤرخ الجيولوجى ماذا حدث لكوكبه من ملايين السنين أو ربما منذ آلاف الملايين من السنين التى مضت ؟ إنه يتعلم ذلك من دراسته لسجل الصخور، وهذا السجل يدل على أن الأرض وسكانها قد تعرضوا لتغيرات كثيرة خلال الحياة الطويلة الممتدة لكوكب الأرض. ومن أى شىء يتكون هذا السجل ؟ وما هى الطرق المستخدمة فى تفسير هذا السجل ؟ هذه هى بعض الأسئلة التى سنتناولها بالدرس فى هذا الفصل.

١- مفاتيح للماضى Keys to the Past

نعتقد الآن أن عمر الأرض يقدر بحوالى ٤٥٠٠ مليون سنة على الأقل. وهناك أدلة تشير إلى أن الحياة قد وجدت على كوكب الأرض لمدة تقرب من ثلاثة آلاف مليون سنة . وبالإضافة إلى ذلك فهناك أدلة كثيرة تؤيد أن الملامح الفيزيقية للأرض لم تكن دائما مشابهة لملامحها الحالية، ومثال ذلك، الجبال الحالية التى تحتل أماكن بحار قديمة، والفحم الذى يستخرج من مناجم كانت فى الماضى ومنذ ملايين السنين مستنقعات. كذلك تعرضت النباتات والحيوانات لتغيرات هائلة. وهذا الاتجاه فى التغير العضوى - بصفة عامة - يتجه نحو أشكال متقدمة من الحياة وأكثر تعقيدا، ومع ذلك فهناك أشكال للحياة ظلت كما هى بدون تغير، بينما انقرضت أشكال أخرى.

ولتفسير تاريخ الأرض وتوضيحه، يجب على الجيولوجى أن يدرس الصخور ويجمع الأدلة التى تدل على التغيرات الكبيرة فى الجغرافيا والمناخ

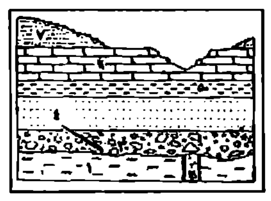
والحيــاة، التى حدثت فى الماضى الجيولوجى. وللقيام بهذا العمل، استحدثت طرائق عديدة متطورة أو مبادئ تفيد كمفاتيح للأحداث المهمة لأزمنة ما قبل التاريخ.

• مبدأ الوتيرة الواحدة the Doctrine of Uniformitarianism

ينص هذا المبدأ الجيولوجى المهم على أن العمليات الجيولوجية التى حدثت فى الماضى تمت بالطريقة نفسها وبالمعدل نفسه الذى تحدث به العمليات الجيولوجية الحالية؛ وبعبارة أخرى «الحاضر هو مفتاح الماضى». وهذا يعنى فى الحقيقة أن ملامح الأرض الحالية قد تكونت نتيجة للعمليات الحالية التى تؤثر فى الأرض لمدد طويلة من الزمن.

• قانون تعاقب الطبقات Law of Superposition

فى أى تتابع غير مضطرب من الصخور الرسوبية، تكون الصخور الموجودة فى أسفل هذا التتابع أقدم من الصخور التى توجد أعلاها (شكل ١٠٨) هذا المبدأ الجيولوجى الهام الذى يسمى قانون تعاقب الطبقات، يعد أساسا لفهم التاريخ الجيولوجى. وإذا كانت الصخور قد حدث لها اضطراب فى الترتيب disturbance، فيكون من الضرورى إذن أن نحدد الأسطح العليا والسفلى للطبقات ليتسنى لنا ترتيبها حسب تتابعها الأصلى.



شكل (١٠٨)

قطاع جيولوجى يوضح قانون تعاقب الطبقات

الطبقة رقم (١) صخور متحولة حدثت لها عملية تحات وهى اقدم الطبقات: يفصلها عن الطبقة رقم (٢) لا توافق (الأسهم) وتتابع الطبقات حتى الطبقة رقم (٧) وهى احدث الطبقات.

• العمر النسبى للصخور النارية Relative Age of Igneous Rocks

الصخور النابطة extrusive rocks، مثل الطفوح البركانية lava flow لا شك فى أنها أحدث من الصخور التى تستقر فوقها، أما الصخور المتدخلة

intrusive rocks مـثل الجـدد القـاطعـة dykes، والـسـدود sills، وكـتل الباثوليث batholiths فهى أحدث من الصخـور التى تتدخل أو تحقن injected فى داخلها . وعلى هذا الأساس فإن الجدة القاطعة المرقمة «٢» فى شكل ٨-١٠ أحدث من الطبقـة رقم «١»، لكنها أقدم من الطبقة رقم «٣».

• قانون التتابع الفونى Law of Faunal Succession

ينص هذا القـانون على أن الفونات الحـفرية fossil faunas (مجمـوعات الحيوانات التى عاشت مـعا فى الزمن الجيولوجى نفسه والمكان نفسه) يتبـع بعضها البـعض فى نظـام محـدد ومعـين. هذه الفـونات مميـزة لكـل جـزء من تاريـخ الأرض. وبمقارنتـهـا بعضها ببـعض يستطيع الجيولوجى أن يتـعرف على الرواسب التى لها العمر الجـيولوجى نفسه. مثل هذا التابع يعنى أن الصـخور الأقدم يُتوقع أن نجد فيـها بقايا الكائنات الأكـثر بدائية، بينما البـقايا التى تدل على حيـاة أكثر تطورا وتقدما، توجد عادة فى الصخور الأحدث.

• المضاهاة Correlation

المضاهاة هى عـملية لتحديد الأعـمار النـسبية لصخور منكشـفة فى مناطق مخـتلفة (أو من عينات لصـخور من آبار مخـتلفة). وهى من الطرائق المهـمة التى يستخدمـها الجيولوجى. وتعد المضاهاة من التقنيـات المفيدة، نظرا لأننا لا نجد فى منطقة واحدة قطاعا صخريا يشـتمل على السجل الكامل لكل الزمن الجيولوجى. لكنه نظرا لأن عملية الترسيب كانت دائما مستمرة فى مكان ما أو آخر، يصبح فى مقدورنا أن نـضاهى مكاشف منتشرة فى أمـاكن كثيرة ونجـمّع منها سجلا مـركبا composite record للزمن الجيولوجى كله.

وبالرغم من وجـود طرائق متـعددة لـلمضـاهاة، إلا أن أكثـر هذه الطرائق استخداما وشيوعا هى:

أ - استمرارية المكاشف Continuity of Outcrops

الطبقات الصخرية المستمرة والتى يمـكن تتبعها دون أن يلاحظ فيها انقطاع، هى الأسهل فى عـملية المضاهـاة. وهذه الطريقة ذات استـعمال مـحدد فى المناطق الصغيرة نسبيا.

ب - التشابه الليثولوجى Lithologic Similarity

تكون بعض التكاوين متسقة فى صفاتها الصخرية، وقد يُستخدم هذا التجانس أو الاتساق فى تتبع التكوين من مكان لآخر وتستخدم هذه الطريقة بحذر، إذ إن بعض الوحدات الصخرية قد تعتريها بعض التغيرات فى النسيج الصخرى أو التركيب من مكشف لآخر ٠ وعلى النقيض من ذلك، فإن بعض التكاوين قد تتميز بوجود بعض الصفات المميزة مثل نمط من التجوية غير عادى، أو تشكيلة مميزة من المعادن أو وجود درنات صخرية غريبة.

جـ - تشابه التتابع Similarity of Sequence

يقوم الجيولوجى بعملية المضاهاة غالبا، بمقارنة الأوضاع التى تظهر فيها طبقات معينة فى قطاعات رأسية بينها مسافات كبيرة. مثال ذلك، لو كان هناك حجر رملى أحمر ومعروف أنه يوجد عادة بين صخر كونجلوميرات غليظ التحبب جدا وطفلة سوداء، هذا التتابع يكون التعرف عليه سهلا ويمكن تمييزه بوضوح فى الحقل. ويمكن استخدام ظواهر عدم التوافق unconformity إن وجدت - بطريقة مماثلة (انظر فيما بعد).

د - تشابه الحفريات Similarity of Fossils

إذا كانت الصخور تحتوى على حفريات، فإنها تكون بالغة الأهمية فى أغراض المضاهاة. والحفريات التى لها مدى رأسى محدود لكن لها انتشارا جغرافيا واسعا تكون مفيدة بشكل خاص.

وتسمى حفريات مرشدة guide fossils، أو حفريات دليلية index fossils وفى نهاية هذا الفصل توجد مناقشة عن عملية المضاهاة باستخدام الحفريات.

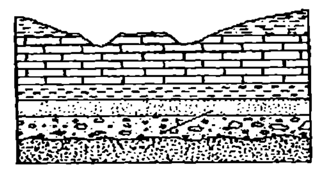
• اللاتوافق Unconformities

توجد فى أماكن كثيرة من السجل الجيولوجى أدلة على عمليات رفع للقشرة الأرضية، تكون متبوعة بفترات طويلة من عمليات التحات أو عدم الترسيب، مثل

هذا الانقطاع أو الفجوة فى السجل الجيولوجى تسمى لاتوافق. ويميز الجيولوجيون ثلاثة أنواع من اللاتوافق هى:

• اللاتوافق التخالفى Nonconformity

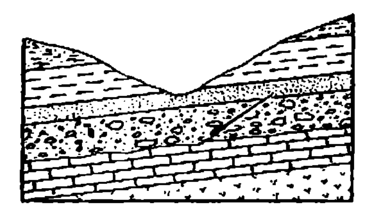
يتكون هذا النوع من اللاتوافق عندما تقع صخور رسوبية متطبقة فوق سطح تحات لصخور نارية (شكل ١٠٩).



شكل (١٠٩)
لاتوافق تخالفى

• اللاتوافق الانقطاعى Disconformity

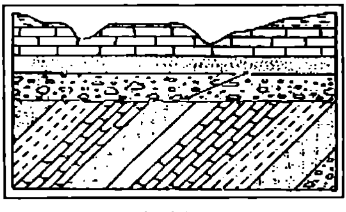
فى هذا النوع من اللاتوافق، تكون الصخور التى فوق وتحت سطح اللاتوافق متوازية (شكل ١١٠).



شكل (١١٠)
عدم توافق انقطاعى

• لاتوافق زاوى Angular Unconformity

فى هذا النوع من اللاتـوافق، وهو أكثـر أنواع اللاتوافق وضـوحـا، تكون الطبقات التى فوق سطح اللاتوافق غير موازية للطبقات التى تحته (شكل ١١١).

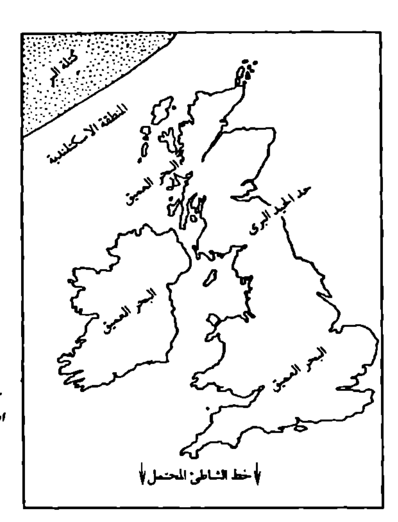


شكل (١١١)
عدم توافق زاوىّ

ويدل هذا النوع من اللاتوافق على أن نـسق الطبقـات الذى يقع تحت سطح اللاتوافق قد مـالت طبقاته أو طويت قبل أن تتـعرّض للتحات والتـرسيب اللاحق للطبقات التى فوقها.

• الجغرافيا القديمة Paleogeography

يختص هذا الفرع من الجيـولوجيا التاريخية بتوزيع البحار القـديمة واليابـة القديمة، وعـلاقـات كل منهما بالأخرى . ويمكن اسـتنباط الجغرافيـا القديمة من خلال دراسة الصـخور الـرسوبيـة لعمر معين وتأويلهـا . وإذا كانت هذه الصـخور تحتوى على حـفريات مرشدة فإن ذلك يفيد كـثيرا فى استنباط الظروف الجـغرافية القديمة. مثال ذلك: لو كانت هناك منطقة معينة توجـد فيها صـخور رسـوبية تحتوى على حفريات بحـرية عمرها من الدور الطباشيـرى المتأخر Late Cretaceos فهذا يدل على أن هذه المنطقة كانت مغمورة بالبـحر فى نهاية الدور الطباشيرى. وتوضح الخريطة الموجودة فى (شـكـل ١١٢) الملامـح الجغرافية القديمـة بعد أن أمكن إعادة تجميعها من الدراسات الجيولوجية.



شكل (١١٢)
خريطة باليوجغرافية توضح امتداد البر (المنقطة) والبحار خلال الدور الكمبرى

٢ - الحفريات: سجل الحياة على الأرض

Fossils : The Record of Lif on Earth

الباليتولوچيا (علم الحفريات) هو علم يختص بدراسة بقايا النباتات وبقايا الحيوانات، وقد قدم لنا معلومات كثيرة للتعرف على حياة ما قبل التاريخ prehistoric life . ونظرا لأن علم الحفريات يختص بسجل الحياة فهو يرتبط ارتباطا وثيقا بالبيولوچيا biology (علم الحياة).

ويعتمد الباليتولوجى paleontologist فى دراسته للحفريات على مذهب الوتيرة الواحدة (الاطرادية) uniformitarianism، الذى ينص على أن الحاضرهو مفتاح الماضى. ونظرا للمدى الهائل للزمن الجيولوچى، فإننا لسنا دائما متأكدين من الظروف البيئية للنباتات والحيوانات التى انقرضت. ومع ذلك فإننا حين نكتشف مجموعة من الحفريات تتشابه أفرادها تماما مع أفراد مجموعة لا تزال

موجودة للآن، فلا بأس من أن نستنتج أن الكائنات الحية التى تمثلها المجموعة الحفرية، كانت تعيش فى ظروف مشابهة لتلك التى تعيش فيها المجموعة الحالية.

٢- أقسام علم الحفريات Divisions of paleontology

تمثل الحفريات بقايا مجموعات متنوعة من الكائنات الحية، ولهذا يقسم علم الحفريات إلى أربعة أقسام أساسية هى:

• علم النبات القديم Paleobotany

يختص بدراسة النباتات المتحفرة وكذلك التغيرات التى طرأت عليها.

• علم الحفريات اللافقارية Invertebrate Paleontology

يختص بدراسة الحفريات التى ليس لها عمود فقرى، وتشمل حفريات هذا القسم على الحيوانات الأولية protozoa (حيوانات دقيقة وحيدة الخلية one- celled) والترايلوبيتات trilobites، وقنافذ البحر echinoids، والرخويات molluscs، والمرجانيات brachiopods وهى تمثل بقايا الحيوانات التى عاشت فى بحار ما قبل التاريخ.

• علم الحفريات الفقارية Vertebrate Paleontology

يختص بدراسة الحيوانات القديمة التى لها عمود فقرى spinal column وتشمل بقايا الأسماك fish والبرمائيات amphibians والزواحف reptiles والطيور birds والثدييات .mammals

• علم الحفريات الدقيقة Micropaleontology

يختص بدراسة الحفريات الصغيرة جدا والتى تفحص تحت الميكروسكوب، وتسمى هذه البقايا الصغيرة «الحفريات الدقيقة microfossils». وتوجد فى العادة فى صورة أصداف shells أو أجزاء من نباتات دقيقة minute plants أو حيوانات دقيقة جدا. وتعد الحفريات الدقيقة ذات قيمة خاصة عند جيولوجى البترول petroleum geologist الذى يستخدمها فى التعرف على التكاوين الصخرية التى توجد تحت سطح الأرض وعلى مسافات تقدر بآلاف الأقدام.

٤ - كيف تكونت الحفريات؟ How Fossils Are Formed

لاحظ هيرودوت Herodotus عام ٤٥٠ قبل الميلاد، وجود حفريات بحرية في الصحراء المصرية، واستنتج، وكان على حق، أن البحر الأبيض المتوسط كان ممتدا إلى تلك المنطقة في زمان ما. وخلال عصور الظلام Dark Ages، اعتبرت الحفريات ضربا من المسوخ الطبيعية freaks of nature أو منتجات شيطانية devices of devils وضعت في الصخور لتضليل الإنسان وإيقاعه في الحيرة. هذه الاعتقادات الخاطئة ظلت سائدة وأعاقت تطور علم الحفريات لقرون عديدة، ولكن خلال المئة عام الأخيرة، تقبل العلماء بلا جدال حقيقة أن الحفريات هي بقايا لحياة قديمة، وزادت أهميتها بصورة متزايدة بالنسبة للجيولوجيين. وتوجد غالبية الحفريات في الصخور الرسوبية البحرية، التي تكونت حينما كانت رواسب البحار الملحة مثل الجير lime، والطين mud والرمل sand أو طبقات من الأصداف shell beds قد تضاغطت والتحمت مكوناتها بعضها مع بعض لتكون صخورا rocks. ونادرا جدا ما توجد الحفريات fossils في صخور نارية أو متحولة.

وحتى في الصخور الرسوبية، فإن جزءا بسيطا من نباتات ما قبل التاريخ وحيواناته قد تركت سجلات قليلة كدليل على وجودها. وليس هذا صعبا على الفهم إذا كنا ندرك المستلزمات الصعبة اللازمة لحدوث عملية التحفر.

• مستلزمات التحفر Requirements of Fossilization

توجد عوامل كثيرة تحدد في نهاية الأمر إمكان تحفر كائن حي من عدمه، لكنه توجد ثلاثة متطلبات أساسية لكي تتم عملية التحفر وهي:

أ - لا بد أن يكون للكائن الحي أجزاء صلبة؛ قد تكون صدفة shell أو أسنان teeth أو عظاما bones أو حتى النسيج الخشبي للنباتات woody tissue. ومع ذلك فقد تتحفر كائنات حية رقيقة ضعيفة مثل السمك الهلامي (قنديل البحر) jellyfish أو حتى الحشرات insects، وذلك حين تتوافر الظروف المواتية لحفظها.

ب - لا بد أن تنجو بقايا الكائن الحي بعد موته من عوامل التدمير، فإذا تعرض جسم الكائن إلى السحق بعد موته أو إلى التحلل، أو تأثر

بعمليات التجوية أو غيرها من العوامل، فإنه يتحطم كلية ولا يتبقى منه شيئا ليتحفر مما يؤدى إلى عدم حفظ هذا الكائن الحى كحفرية، ومن ثم غيابه من السجل الجيولوچى.

جـ - لا بد أن يدفن الكائن الحى بعد موته بسرعة فى مواد لها القدرة على تأخير عملية التحلل. ويتوقف نوع هذه المواد التى يدفن فيها الكائن الحى، على المكان الذى يدفن فيه. ومن أكثر الحفريات شيوعا هى بقايا الكائنات البحرية، حيث إنها تتراكم على قاع المحيط بعد موتها ثم تغطى بالطين الدقيق التحبب الذى يتصلب طفلةً وأحجارا جيرية فى العصور الجيولوچية التى تلت ذلك. ويلاحظ أن فرصة الحفظ تكون أفضل إذا دفن الكائن بعد موته فى رواسب دقيقة التحبب. وهناك أنواع معينة من الأحجار الجيرية الدقيقة التحبب من الدور الجوراسى فى ألمانيا، وجدت فيها حفريات حفظت حفظا جيدا، بالرغم من أنها كانت عينات رقيقة من بقايا الطيور والحشرات والأسماك الهلامية (قناديل البحر).

ويغطى الرماد المتساقط من البراكين، غابات بأكملها تكون قريبة من هذه البراكين (كما يلاحظ ذلك فى مدينة بومبى Pompeii فى إيطاليا). وقد وجدت الغابات المتحجرة (المتحفرة) على هيئة أشجار قائمة وعلى درجة ممتازة من الحفظ، ومن الأمثلة الشهيرة على الأشجار المتحفرة ما يمكن مشاهدته فى المتنزه القومى فى «يلوستون» Yellowstone National Park فى الولايات المتحدة الأميركية.

وتوجد الغابات المتحفرة فى بريطانيا فى دورست Dorset وفى جلاسجو فى أسكتلندا. ومعظم الأشجار المتحفرة وبخاصة تلك الموجودة فى خلجان سوانسى bays of Swansea قد حفظت بطريقة التحجر Petrification، وسوف يأتى وصف هذه العملية فيما بعد. كذلك فإن الرمال المتحركة quicksand والقار tar، يعدان من عوامل الدفن السريع للكائنات المتحفرة. ويعمل القار كمصيدة للإمساك بالحيوان، كذلك يعمل كمانع للتحلل antiseptic فيؤخر عملية تحلل الأجزاء الصلبة للحيوان.

ومن أشهـر أنواع بحيرات القـار التى عثر فـيها على أعـداد هائلة من عظام حـيـوانات مـا قـبل التـاريخ، تلـك الموجـودة فى لوس أنجلوس Los Angeles بكاليـفورنيـا California، والتى تـسـمى بانكولابريا Bancho La Brea. وتشـمل العظام المـتخرجة من القار، النمر المـيف الأسنان sabre- toothed tiger، وحيوان الكـسـلان الأرضى العمـلاق giant ground sloths، وحـيـوانات أخـرى منقرضـة. وبالنـسبة لبقايا الحيوانات التى كانت تعيش أثناء العصور الجليدية Ice Ages، فقد حفظت فى الجليد أو الأديم المتـجمد frozen ground؛ وبعض من هذه الحيوانات وبخاصـة الماموث mammoth الذى حفظ بأكـمله، لا تزال سليـمة وكـاملة بدرجة ملحوظة حتى الآن.

٥- ثغرات فى السجل الحفرى Gaps in the Fossil Record

بالرغم من العـدد الذى لا يحصى من الكائنات التى عـاشـت على كوكب الأرض فى عصوره الماضيـة، إلا أن جزءا بـسيطا فقط هو الذى ترك وراءه أى سـجل يدل على وجوده. وبالرغم من توافر المتطلبات الأساسية لحدوث عملية التحفر، إلا أن هناك أسبابا أخـرى تمنع تحفر بعض الكائنات؛ فعلى سبـيل المثـال، تؤدى عملية التحـات إلى تحطيم عدد كـبـير من الحفريات، أو أن تكـون المياه الجوفيـة قد أثرت على الأجزاء الصلبة للحـيوان فأذابتها. وهناك كائنات دفنت فى صـخور تعرضـت فيمـا بعد لتغيرات فـيزيقية كبـرى، والحفريات التى يعثر علـيها فى هذا النوع من الصخور تكون مهشـمة بصورة يستحيل تعرفها. كـذلك هناك الكثير من الصخـور الحـاويـة على الحفـريـات لا يمكن دراسـتهـا، إذا إنهـا قد تكون مـغطاة بالماء أو بطبقات سميكة من الصخور الرسوبية. وهناك صخور بها حفريات توجد فى أماكن لا يتيـسر الوصـول إليها لوعورة المكان الشديدة أو لظروف جغـرافية أخرى. هـذه المشاكل وغيرها تواجـه الجيولوجى عند محاوله وصف بقـايا نباتـات أو حيوانات كانت تعيش فى الماضى.

تزداد ثغرات السجل الحفرى عددا وتصبح أكـثر وضوحا فى الصخور الأقدم للقشرة الأرضـية. ويفـسر ذلك بأنه كلمـا كانت الصخور أقـدم، كانت هناك فرص أكبـر لتعرضـهـا للتغيـرات الفيزيقيـة والكيميـائية أو لزوالها تمامـا نتيجة لعـمليات التحات.

٦- الأنواع المختلفة للبقايا الحفرية

Different Kinds of Fossil Remains

تقسم الحفريات إلى أربعة أقسام على أساس تركيب البقايا أو التغيرات التى تعرضت لها منذ دفنها.

• الأجزاء الرخوة الأصلية للكائن الحى Original Soft Parts of Organisms

لكى يحفظ الجزء الرخو للكائن الحى، فلا بد أن يدفن فى وسط يساعد على تأخير عملية التحلل - وفى هذا النوع من التحفر يكون الوسط المناسب هو التربة المتجمدة frozen soil أو الجليد أو التربة المشبعة بالنفط وكذلك الكهرمان amber (وهو راتينج متحفر fossil resin). ومن الممكن أن تحفظ البقايا بعملية التجفيف desiccation حيث تؤدى هذه العملية إلى تحول الكائن إلى مومياء طبيعية natural Mummy، وتحدث هذه العملية عادة فى المناطق القاحلة والصحراوية أو فى الأماكن التى تنجو فيها البقايا من الحيوانات المفترسة أو الحيوانات القمّامة.

ومن أحسن الأمثلة للأجزاء الرخوة التى حفظت لحيوانات منذ أزمنة ما قبل التاريخ، تلك التى اكتشفت فى ألاسكا Alaska وسيبيريا Siberia. فقد وجدت بقايا أعداد كثيرة من الماموث mammoth حفظت كاملة فى صحراء التندرا tundra القطبية. ويعد الماموث من الحيوانات المنقرضة التى تشبه الأفيال. وقد دفنت أجسام هذه الحيوانات العملاقة لمدة زمنية تزيد على ٢٥ ألف سنة، وانكشفت عندما بدأت الأرض المتجمدة فى الانصهار. وقد حفظت بعض هذه الجثث العملاقة بشكل جيد جدا لدرجة أن لحمها مازال طريا صالحا للأكل، وقد بيعت أنيابها لتجار العاج ivory traders. واكتشفت الأجزاء الرخوة المتحفرة فى التربة المشبعة بالنفط فى شرق بولندا Poland، حيث عثر على قرن الأنف nose - horn والقدم الأمامية foreleg وأجزاء من الجلد لحيوان وحيد القرن rhinoceros المنقرض فى هذه الرواسب. وقد عثر على الموميات الطبيعية لحيوان الكسلان الأرضى ground sloth فى المغارات والفوهات البركانية فى نيومكسيكو وأريزونا، حيث ساعدت

الظروف المناخيـة القاحلة جدا على جـفاف dehydration الاجزاء الرخـوة قبل أن تبدأ فى التحلل، وقـد عثر على عينات من أجزاء الجـلد الأصلى والشعر والأسـنان والمخالـب.

وهناك نوع شائق من التحفر، وهو الحفظ فى الكهرمان amber، وقد حدث هذا النوع من الحـفظ حينما اصطيـدت الحشـرات القديمة فى الصـمغ اللزج الذى كانت تفرزه أشجار صنوبرية معينة. وبمرور الزمن تصلـب هذا الصمغ تاركا الحشرة محـبوسـة فى مقـبرة من الكهرمان. وبعـض من هذه الحشرات والعناكب محـفوظ حـفظا جيـدا لدرجـة أن شعـر الحـشرة والنـسيج العـضلى يمكن فـحصـه تحت الميكروسكوب. وبالرغم من أن حـفظ الجزء الـرخو للكائن الحى قـد خلّف بعض الحفـريات المهمة والمبـهرة، ألا أن هذا النوع نادر نـسـبيا، ويرى الجيـولوجيون أنه لامحيص من دراسة البقايا التى حفظت فى الصخور .

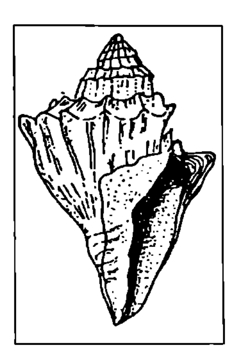
• الأجزاء الصلبة الأصلية للكائنات الحية Original Hard Parts of Organisms

معظم النباتات والحـيوانات لها الأجزاء الصلبة التى يمكن أن تتـحفر. وقد تكون هذه الأجزاء الصلبة مواد صدفـة محارة، أويسـتر oyster، أو قوقعة snail، أو أسـنان أو عظام حـيوانات فقـارية، أو الهيكـل الخارجى exoskeleton لـسرطان البحر crab أو النـسيج الخشبى للنباتات.

وتتكون هذه الأجزاء الصلبة من مواد مختلفة لها القدرة على مقاومة التجوية والتأثيرات الكيمـيائية. وهذا النوع من الحفريات هو أكثر الحفريات شيوعا نـسبيا.

• البقايا الجيرية Calcareous Remains

يشيـع وجـود الأجـزاء الصلبـة المكونـة من الكالسـيت (كربونات الكالسـيوم) فى اللافقاريـات، مثل المحارات clams والقواقع snails والمراجين corals، وقد حـفظ الكثيـر من هـذه الأصـداف دون أن يطرأ عليـها أى تغـير فيـزيقى، (انظر شكل ١١٣).



شكل (١١٣)
صدفة حفرية مكونة من كربونات الكالسيوم

• البقايا الفوسفاتية Phosphatic Remains

تحتوى عظام وأسنان الفقاريات وكذلك الهيكل الخارجى لكثير من اللافقاريات على كمية كبيرة من فوسفات الكالسيوم . وتتميز هذه المادة بأنها مقاومة للتجوية، ولهذا فإن البقايا الفوسفاتية توجد فى حالة ممتازة من الحفظ.

• البقايا السيليسية Siliceous Remains

يوجد الكثير من الكائنات الحية التى تتكون عناصر هياكلها من السليكا (ثانى أكسيد السليكون) وقد حفظت دون أن تطرأ عليها أية تغييرات ملحوظة. وقد تحفرت بهذه الطريقة الأجزاء الصلبة لكثير من الكائنات الحية الدقيقة (المجهرية) وبعض أنواع الإسفنج sponge.

• البقايا الكيتينية Chitinous Remains

تكون الصدفة الخارجية لبعض الحيوانات من الكيتين؛ وهى مادة تشبه فى تركيبها أظافر الأصابع. وتحفظ الهياكل الخارجية exoskeletons الكيتينية المتحفرة للمفصليات arthopods على هيئة غشاء film من الكربون بسبب تركيبها الكيميائى وطريقة دفنها.

•الأجزاء الصلبة المتغيرة للكائنات الحية Altered Hard Parts of Organisms

تتعرض الأجزاء الصلبة الأصلية للكائن الحى إلى تغيرات كبيرة بعد دفنها. وتتم هذه التغيرات بطرق كثيرة، غير أن التركيب الكيميائى للجزء الصلب هو الذى يحدد طريقة التغير وكذلك المكان الذى يعيش الحيوان فيه. وفيما يلى وصف لأكثر العمليات شيوعا فى حدوث عملية تغير الأجزاء الصلبة الأصلية للكائن الحى بعد دفنه:

•التكربن (التفحم) Carbonization

تسمى هذه العملية أيضا بعملية التقطير distillation، وتحدث عندما تتحلل المواد العضوية ببطء بعد دفنها. وأثناء عملية تحللها، تفقد المادة العضوية الغازات والسوائل بالتدريج، وتترك غشاء رقيقا فقط يتركب من مادة كربونية. ويتكون الفحم بمثل هذه الطريقة؛ كذلك فإن الحفريات النباتية المتكربنة carbonized piant fossils يشيع وجودها فى رواسب الفحم. بالإضافة إلى ذلك، هناك نوع غير عادى من طرق حفظ الأسماك والجرابتوليتات والزواحف تمَّ نتيجة لعملية التكربن.

•التحجر Petrifaction or Permineralization

تكونت أعداد كبيرة من الحفريات نتيجة لعملية التحجر (المعنى الحرفى لكلمة تحجر هو التحول إلى حجر) ·ويتم هذا النوع من الحفظ حينما ترشح المياه الجوفية الحاملة للمعادن فى مسام العظام والأصداف أو المواد النباتية، وترسب المياه الجوفية محتواها المعدنى فى مسام الأجزاء الصلبة، وبالتالى تجعل هذه الأجزاء الصلبة أكثر كثافة وأكثر مقاومة للتجوية. ومن أكثر المعادن التى تترسب بهذه الطريقة الكالسيت والسليكا ومركبات حديدية عديدة.

•الإحلال أو التمعدن Replacement or Mineralization

يحدث هذا النوع من الحفظ عندما تذيب المياه الجوفية الأجزاء الصلبة الأصلية للكائن الحى وتكتسحها معها، ويصحب تلك العملية ترسيب متزامن لمواد أخرى فى الفراغات الناتجة. وقد تؤدى عملية الإحلال المعدنى إلى تهشم البنية

الأصلية للحفريات التى حدثت لها عملية الإحلال. وقد تتم عملية الحفظ لكل التفاصيل الدقيقة للبنية الأصلية كما هو الحال فى جذوع بعض الأشجار التى حدثت لها عملية سيلكة silicification

وبالرغم من وجود أكثر من ٥٠ معدنا سجلت كمعادن لها القدرة على الإحلال فى البنية العضوية الأصلية، إلا أن أكثر هذه المعادن شيوعا هى الكالسيت والدولوميت (كربونات الكالسيوم والمغنسيوم) والسليكا ومركبات معينة للحديد.

• آثار الكائنات الحية Traces of Life Organisms

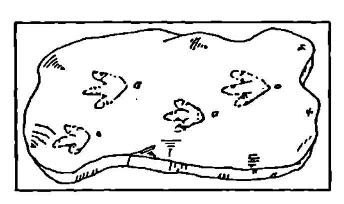
لا تتكون الحفريات من البقايا الفعلية للنباتات أو الحيوانات فحسب، بل قد تكون آثارا أو أدلة تدل على سابق وجودها. وبالرغم من أن هذه الآثار لا تُظهر دليلا مباشرا على وجود الكائن الأصلى، إلا أن هناك أحيانا الأدلة على وجود نباتات أو حيوانات قديمة فى الماضى . مثل هذا النوع من الحفريات قد يعطى معلومات تفيد فى التعرف على صفات الحيوان الذى ترك هذا الأثر الحفرى.

• القالب والصبة Mould and Cast

يوجد الكثير من العظام والأصداف، وأوراق الأشجار، وأشكال أخرى من المواد العضوية كحفريات محفوظة على هيئة قوالب moulds أو صبّات casts، فإذا ضغطت الحفرية فى قاع المحيط قبل أن تتصلب رواسب القاع إلى صخر، فقد تترك الحفرية طابعا للجانب الخارجى من الصدفة ويعرف هذا باسم القالب mould. وإذا ملئ هذا القالب فى مرحلة تالية بمادة أخرى، نتج عن ذلك ما يسمى صبّة cast. والصبة المتكونة بهذه الطريقة سوف تظهر الملامح الخارجية الأصلية للصدفة، وتسمى هذه الأشياء باسم القوالب الخارجية external moulds إذا كانت تظهر الملامح الخارجية للجزء الصلب، وتسمى قوالب داخلية internal moulds إذا كانت تبدى طبيعة الجزء الداخلى. وتتكون القوالب والصبات فى معظم الصخور التى تحتوى على حفريات. ويمثل هذه الطريقة تحفظ القواقع والأسماك الصدفية حتى ولو كانت أصدافها مكونة من معادن سهلة الذوبان نسبيا، وغالبا ما تتحطم وتتلاشى مادة الصدفة الأصلية فى هذا النوع من طرق الحفظ.

• الأثر وأثر الجر والجحور Tracks ,Trails and Burrows

يترك كثير من الحيوانات سجلا يدل على حركتها فوق أرض جافة أو على قاع البحر، مثل آثار الأقدام (شكل ١١٤) التى تدل على نوع الحيوان الذى ترك هذا الأثر، وكذلك تعطى معلومات قيمة عن بيئة الحيوان. وعلى هذا الأساس فإن دراسة سلاسل الآثار التى تركتها قدم دينوصور ما dinosaur تعطى فكرة عن حجم وشكل قدم الدينوصور وكذلك تدل على حجم الحيوان وطوله. وبالإضافة إلى ذلك فإن نوع الصخر الذى يوجد فيه هذا الأثر قد يساعد على تحديد الظروف التى عاش فيها الحيوان.



شكل (١١٤)
آثار حفرية للزواحف حفظت فى الصخر

وقد ظهرت آثار لستة أقدام على شاطئ قطعته الأمواج إلى الجنوب من فيلى Filey فى يوركشير وكانت مساحة أثر القدم الواحدة حوالى ١٥ بوصة مربعة ويتكون الأثر من طبعات ثلاثة حوافر toes، وكذلك أثر عقب القدم stump "heel". ومن الصعب العثور على مثل هذه الآثار، ولكن توجد قوالب وأثار أقدام شبيهة معروضة فى متحف سكار بورو Scarborough.

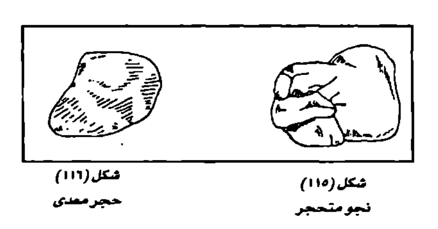
واللافقاريات أيضا تترك آثارا تدل على أنشطتها. ويظهر ذلك على أسطح الأحجار الرملية وطبقات الحجر الجيرى. وقد تكون هذه آثارا بسيطة يخلفها الحيوان عندما يتحرك على هذه الأسطح وأمثلتها جحور السرطانات البحرية burrows of crabs والحيوانات الحفارة الأخرى. وتدل مثل هذه الآثار المحفوظة على سلوك الحيوانات التى تركتها، وعلى نوع البيئة التى كانت تعيش فيها .

• النجو المتحجر Coprolites

هذه الأجسام هى الإخراجات المتحجرة (شكل ١١٥) وهى حفريات تعطى معلومات قيمة عن طبيعة غذاء الحيوان وصفاته التشريحية التى صنعت هذه المخلفات.

• متحجرات معدية Gastroliths

هذه أحجار تامة الاستدارة ومصقولة إلى حد كبير (شكل١١٦). ويعتقد أنها كانت تستخدم فى مَعِدَات الزواحف لجرش الغذاء إلى قطع صغيرة، وقد وجدت أعداد كبيرة من «أحجار المِعدَة stomach stones» هذه مع بقايا أنواع معينة من الدينوصورات وبعض الزواحف المنقرضة.



شكل (١١٥)
نجو متحجر

شكل (١١٦)
حجر معدى

٧- تصنيف الحفريات Classification of Fossils

توجد أعداد هائلة من الكائنات، سواء أكانت تعيش حتى الآن أم انقرضت، ولهذا فإن الحاجة ملحة لوضع نظام تصنيفى لهذه الكائنات وربطها جميعا بعضها ببعض. وفى حالات كثيرة توجد حفريات تحمل صفات واضحة تتشابه فيها مع النباتات والحيوانات الحالية، ولهذا السبب نجد التصنيف الباليتولوجى يشبه إلى حد كبير تصنيف الكائنات الحية الحديثة. ويعرف هذا النظام باسم «التسمية الثنائية binomial nomenclature» الذى وضعه العالم السويدى كارل لينّاس Carl Linnaeus عام ١٧٥٨ وطبقا لنظام التسمية الثنائية، تتكون الأسماء العلمية من

جـزئـين: اسـم الجنس *Genus* واسـم النوع *Species*. وفى العـادة يـشـتق هذان الاسـمان من كلمتـين يونانيتين أو لاتينيـتين لوصـف الكائن أو الحفرية المـسماة، مثل *Didymograptus extensus* وقد تشـتق الأسـماء من أسـماء أشـخـاص أو أماكن، وفى هذه الحـالات تكتب الأسـمـاء «مـلتنة» latinized مـثل *Didymograptus murchisoni*. وتـسـتخـدم اللغة اللاتينية أو اليـونانية لأنهما أولا من اللغـات الميتة dead languages، وثانيا لأنهمـا غير عرضة للتغـيـر، لكن الأكثر أهميـة، لأنهما لغتـان عالميتان، حـيث يعترف بهمـا العلماء فى كل أنحاء العـالم. وقد أدى نظام التـسمية الـثنائية إلى ظهور علم التصنيف Taxonomy وهو فرع من العلم يختص بتصـنيف الكائنات الحية والحفريات.

٨- وحدات التصنيف Units Of Classification

تقـسم الحياة الـعضوية إلـى مملكتى النبات والحـيوان. وتقـسم المملكة إلى شُعب phyla (من الكلمة الإغريقية *phylon*) وتضم كل شعبة كـائنات لها صفات معينة مـشتركة. فمـثلا، كل الحيوانات التى لهـا حبل شوكى spinal cord تندرج تحت شعبة الحبليات chordata.

وتضـم كل شعـبة أقسـاما أصـغر هى الطوائف classes، وتقـسم كل طائفة إلى رتب orders ثم تقـسم الرتب إلى فصـائل families ثم تقـسم الفصـائل إلى أجناس genera، وينقـسم كل جنس إلى وحـدات أصغـر تـسـمى أنواع species ويقـسم أى نوع إلى أقسـام أصغر يـسمى الواحد منها تحت نوع subspecies ثم يقـسم هذا إلى ضـروب varieties. ويكوّن اسـم الجنس generic name مع اسم النـوع trival name الاسـم العلمى scientific name للنوع. وطبقا لهذا النظام التقـسيمى، فإن الاسـم العلمى لـكل البشر الحـاليـن هو *Homo sapiens*. وبالرغم من وجود بعض الفروق بين الأفـراد من البشر، إلا أنهم جـميعا تجـمع بينهم صفات عـامة مشتركة ولهذا يصـنفون جميعا فى نوع واحد.

ويوضح الجدول التـالى تصنيف الإنـسان man والكلب dog ومحارة clam من ذوات المصراعين:

	،الإنسان Man،	،الكلب Dog،	،محارة ذات مصراعين Clam،
المملكة kingdom	الحيوانية Animalia	الحيوانية Animalia	الحيوانية Animalia
الشعبة phylum	الحبليات Chordata	الحبليات Chordata	الرخويات Mollusca
الطائفة class	الثدييات Mammalia	الثدييات Mammalia	المحاريات Pelecypoda
الرتبة order	الرئيسيات Primates	اكلات اللحوم Carnivora	رقائقيات الخياشيم Eulamellibranchia
الفصيلة family	البشريات Hominidae	ذوات الأنياب Canidae	فنريدى Veneridae
الجنس genus	الإنسان *Homo*	الكلب *Canis*	فينوس *Venus*
النوع species	العاقل *sapiens*	الأليف *familiaris*	مرسيناريا *mercenaria*

وعند كتابة الاسم العلمى، فلا بد أن يبدأ اسم الجنس بحرف كبير capital letter واسم النوع يبدأ بحرف صغير ويجب أن يكتبا بحروف مائلة أو يوضع تحت كل منها خط.

٩- استخدامات الحفريات How Fossils Are Used

تفيد الحفريات فى نواحٍ كثيرة، إذ إن كل عينة منها قد تعطى معلومات عن زمن حياتها وأين عاشت وكيف كانت حياتها. وعلى سبيل المثال، نحن نستخدم الحفريات فى تتبع تطور النباتات والحيوانات، ففى الصخور الأقدم نجد الحفرية بدائية نسبيا وبسيطة. بينما نجد الحفريات المشابهة لها والموجودة فى صخور أحدث وعاشت فى أزمنة متأخرة later tims، نجدها أصبحت متطورة وأكثر تعقيدا.

وهناك حفريات معينة تستخدم كأدلة بيئية environmental indicators، مثل المراجين البانية للشعاب التى عاشت دائما تحت الظروف نفسها التى تعيش فيها حاليا . وعلى هذا الأساس فلو أن الجيولوجى وجد شعابا مرجانية متحجرة fossil reef corals فى مكانها *in situ* (حيث كانت تعيش أصلا)، فإنه يستطيع أن يؤكد أن الصخور التى تحتوى على هذه الشعاب قد تكونت من رواسب توضعت فى مياه دافئة ضحلة ملحة.

وان دراسة وجود وتوزيع الحفربات البحرية، يجعل من الممكن تحديد مواقع وامتداد بحار ما قبل التاريخ. كما أن بعض الحفريات قد تزودنا ببعض الأدلة على عمق القاع ودرجة حرارته وظروفه وقدر ملوحة المياه التى كانت تعيش فيها هذه الكائنات قبل تحفرها.

ومن أهم استعمالات الحفريات ما يتصل بأغراض المضاهاة (المضاهاة هى عملية لبيان أن طبقات صخرية معينة ينتمى بعضها إلى بعض). وبمضاهاة الطبقات التى تحتوى على حفريات بعينها، يمكن لنا أن نحدد توزيع التكاوين الجيولوجية فى منطقة ما. وهناك بعض الحفريات التى لها مدى جيولوجى رأسى محدود وتوزيع جغرافى منتشر، وبعبارة أخرى أن الكائنات التى تمثلها عاشت لفترة قصيرة من الزمن الجيولوجى، لكنها كانت ذات انتشار جغرافى واسع . وتسمى مثل هذه الحفريات باسم الحفريات المرشدة guide fossils أو الدليلية index fossils. وهذا

النوع من الحفـريات مفيد جدا فى عـملية المضاهاة، إذ إنها لا تـوجد عادة إلا فى صخور لها العـمر نفـسه. وتعد الحفـريات الدقيقة microfossils حفريات مرشدة لجـيـولوجى البـتـرول. وفى هذا المجـال يقـوم أخـصائـى الحفـريات الدقـيـقـة micropaleontologist بغـسل العينات الصخرية التى أُحْـضِرت من عمليات الحفر، ثم يقوم بفصل الحفريات الدقيقة من الصخر المحيط بها، وبعد ذلك يضع الحفريات على شرائح خاصة لتُـدْرس تحت المجهر. وقد تـفر المعلومات المسـتنتجة من دراسة هذه الحفـريات عن بيانات مـفيدة عن عـمر التكاوين الجيـولوجية التـحتـسطحـية وإمكانيـة إنتاج الزيت منـها. وفى الواقع فـإن بعض النطاقـات المنتجـة للزيت فى تكـساس Texas، ولويزانا Louisana قـد سـميت بأسـمـاء أجناس مـعـينة من الفورامنيفرا foraminifera.

وهناك أيضـا حـفريات دقـيـقـة أخرى مـثل الفـيـوزيوليناتfusulinids و الأسـتـراكودات ostracods وحـبوب اللقـاح pollens والأبواغ spores تـسـتخدم للتعرف على الطبقات والتكاوين التحتـسطحيـة. وبالرغم من أن النباتات تـستخدم كأدلة مناخـيةclimatic indicators بنجـاح، إلا أنها لا تفـيد كـثيـرا فى أعمـال المضاهاة. ومع ذلك فهى تفيد فى معـرفة التطور الذى حدث للنباتات خلال الزمن الجيولوجى.

الفصل السادس عشر

الحياة فى العصور الماضية

LIFE OF PAST AGES

كانت بعض النباتات والحيوانات التى عاشت فى أثناء أزمنة ما قبل التاريخ، تشابه بشكل مدهش مثيلاتها التى تعيش فى الوقت الحالى. لكن البعض الآخر بلغ حجوما ضخمة، وكانت له أشكال متنوعة غريبة تختلف كثيرا عن الكائنات الحية الحديثة.

ويهدف هذا الفصل إلى تزويد القارئ بمقدمة تبرز تنوع أشكال الحياة ما بين الماضى والحاضر. وبالرغم من أن التصنيف الذى اتبع فى هذا الفصل لا يعد تقسيما مفصلا للغاية، لكنه تصنيف يفى بالغرض من هذا الفصل حيث يعد من أحدث التقسيمات. وحيث إنه توجد فروق بين التصنيف المتبع هنا وبين التصانيف الأخرى وخاصة الأقدم والمنشور منها، فقد وضعت أسماء بديلة للقليل من المجموعات المدونة فيما يلى.

ويعتمد التقسيم الحالى على علم الشكل morphology، أى دراسة البنية structure أو الشكل form. وسوف تسهل دراسة هذه المداخل تعريف الصفات والخواص التشخيصية لكل مجموعة مدروسة. كذلك فإنها ستساعد فى التعرف على بعض الأشكال الأكثر انتشارا إذا وجدت على هيئة حفريات. وقد أضيفت تعليقات وبيانات عن كل مجموعة من حيث بيئتها، وأكثر طرق الحفظ شيوعا فيها، وكذلك المدى الجيولوجى لها (المدى الزمنى الذى عاشه الكائن الحى عبر التاريخ الجيولوجى).

ويوجد فى الملحق «جـ» فى نهاية الكتاب تصنيف مبسط لعالمى النباتات والحيوانات فى شكل ملخص.

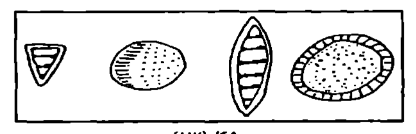
١- تصنيف (تقسيم) النبات Plant Classification

توجد الحفريات النباتية عادة على هيئة كِسْرات غير محفوظة جيدا. ومع ذلك، فهناك بعض السجلات النباتية الحفرية التى زودتنا بمعلومات كثيرة عن تطور النبات. كذلك توجد أنماط معينة من النباتات المتحفرة تستخدم شواهد على الظروف المناخية القديمة، وبعض منها كان له أهمية كبيرة فى تكوين رواسب الفحم.

ويبين التصنيف التالى المجموعات التصنيفية الكبيرة فقط، ومع ذلك فهو يشير إلى التنوع الضخم للأشكال التى يتألف منها عالم النبات plant kingdom وقد وضع مصطلح «قسم division» بدلا من مصطلح «شعبة phylum» المستخدم فى عالم الحيوان animal kingdom، وفى الوقت الحالى يفضل علماء النبات وعلماء النبات القديم استخدام هذا المصطلح.

• عويلم النباتات الثالوسية Sub-Kingdom Thallophyta

تضم النباتات الثالوسية أبسط النباتات قاطبة، فهى نباتات لا تكوِّن أجنة وليست لها جذور أو سوق أو أوراق، وتشمل أشكالا مثل الطحالب algae والفطريات fungi والحزازيات lichens والدياتومات diatoms. وتوجد الأخيرة (الدياتومات) على هيئة حفريات دقيقة فى الصخور الرسوبية البحرية (شكل ١١٧). وتفرز بعض أنواع الطحالب كربونات الكالسيوم بكميات كبيرة تسمح ببناء كتل ضخمة من الحجر الجيرى تسمى الشعاب reefs. وتوجد هذه الشعاب الطحلبية فى صخور معينة من حقب ما قبل الكمبرى، وتعد من أقدم الحفريات المعروفة. والمدى الزمنى للنباتات الثالوسية يمتد من ما قبل الكمبرى حتى العصر الحديث Recent.



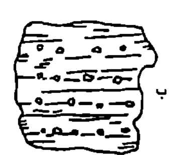
شكل (١١٧)

دياتومات (مكبرة جدا)

• عويلم النباتات الجنينية Sub-Kingdom Embryophyta

تعد النباتات الجنينية أكثر تطورا من النباتات الثالوسية، إذ إنها نباتات مكونة للأجنة، وتشمل أعضاء قسم الحزازيات bryophyta والحزازيات القائمة mosses، والحزازيات الكبدية liverworts. وبالرغم من المدى الجيولوجي الواسع للنباتات الجنينية؛ والذي يمتد من الدور الكربوني Carboniferous حتى العصر الحديث Recent، إلا أن حفريات هذا القسم نادرة. وأكثر أنواع النباتات الجنينية أهمية، النباتات التي تندرج تحت قسم النباتات الوعائية Tracheophyta (نباتات لها أنسجة وعائية vascular plants) والتي تقسم إلى أربعة تحت أقسام subdivisions، ومن بينها الكثير من النباتات الحية المهمة وكذلك النباتات المتحفرة؛ وهذه تضم السرخسيات ferns والنباتات الدائمة الخضرة evergreens والنباتات المزهرة flowering plants والأشجار الخشبية الصلبة hardwood trees. ومن أفضل أمثلة النباتات الوعائية المتحفرة النباتات السيكادية cycades "عاريات البذور" والسرخسيات ferns وكذلك نبات الجنكوس ginkgos، بالإضافة إلى النباتات المهمة في تكوين الفحم مثل الحزازيات القائمة الهراوية (mosse club) ونبات السمار (الأسل) scouring rush وكذلك الأشجار الحرشفية scale trees (شكل ١١٨) ويمتد المدى الجيولوجي للنباتات الوعائية من الدور السيلوري Silurian إلى العصر الحديث Recent. وقد وجدت أيضا بذور متحفرة وأبواغ spores وحبوب لقاح pollen grains، ونظرا لحجومها الدقيقة، فإن البعض منها يكون حفريات دقيقة قيمة.


أ


ب

شكل (١١٨)

حفريات لنباتات متفحمة

أ- خشبانيات. ب- سجيلاريا.

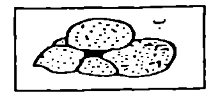
٢- عالم الحيوان Animal Kingdom

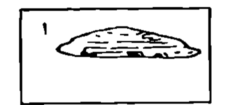
توجد بقايا الحيوانات المتحفرة بكثرة فى الصخور الرسوبية. وتتنوع هذه البقايا الحيوانية فى أنواعها، فمنها الأصداف الدقيقة (الميكروسكوبية microscopic) للحيوانات الوحيدة الخلية، ومنها عظام الدينوصورات العملاقة. وأكثر أنواع الحفريات شيوعا هى بقايا الحيوانات اللافقارية مثل المراجين corals والرخويات molluscs والقنافذ البحرية echinoids. وفى بعض الأحيان قد لا يكون سهلا أن تصنف أنواع معينة من كائنات حية على أنها نباتات أو حيوانات. واقترح بعض العلماء أن توضع هذه الكائنات «الوسطية «in-betweens» فى مجموعة منفصلة أو «عالم منفصل separate kingdom» يسمى «بروتستا Protista»، ويضم هذا العالم الأحياء وحيدة الخلية مثل البكتيريا والطحالب والأوليات والدياتومات، لكننا فى هذا الكتاب سوف ندرس ما هو معروف كنبات وما هو معروف كحيوان فقط.

• شعبة الحيوانات الأولية Phylum Protozoa

تشمل هذه الشعبة الحيوانات اللافقارية البسيطة وحيدة الخلية (حيوانات ليس لها عمود فقرى Backbone)، ومعظم هذه الحيوانات ليس لها هيكل أو أجزاء صلبة، ومع ذلك فإن البعض منها قد يكون له جزء صلب خارجى قابل للتحفر. ومعظم الأوليات دقيقة الحجم (ميكروسكوبية) ولهذا فإن لها أهميتها كحفريات دقيقة. وتضم هذه الشعبة طائفة الساركودينا Sarcodina التى تقسم إلى رتبتين هما: الفورامينيفرا Foraminifera والراديولاريا Radiolaria، وهذان النوعان مفيدان كحفريات مهمة.

وتسمى أفراد رتبة الفورامينيفرا «المنخريات forams»، وهى عادة حيوانات بحرية تفرز أصدافا دقيقة عديدة الحجرات من الكيتين chitin أو السليكا silica، أو كربونات الكالسيوم calcium carbonate (شكل ١١٩). وتوجد الفورامينيفرا بكثرة فى كثير من الصخور الرسوبية البحرية ولها مدى جيولوجى واسع يمتد من الدور الكمبرى حتى العصر الحديث. ونظرا للانتشار الكبير للفورامينيفرا ووفرة أعدادها، فإنها تعد أكثر الحفريات الدقيقة فائدة على الإطلاق. وبالنسبة إلى





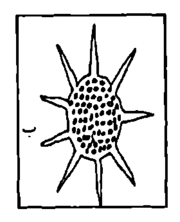
شكل (١١٩)

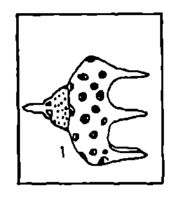
حفريات فورامينيفرا (مكبرة جداً)

ا- فيوسيولينا ***Fusulina*** (الكربونى).

ب- لنتيكيولينا ***Lenticulina*** (الطباشيرى).

الراديولاريا (الشعاعيات)، فإنها تفرز أصدافا سيليسية رقيقة مغطاة بأشواك (شكل ١٢٠) وتشيع بقاياها بكثرة فى أنواع معينة من الرداغ ooze أو فى الرواسب البحرية عموما، ويمتد مداها الزمنى من الدور الكمبرى Cambrian إلى الحديث Recent، لكنها لا توجد عادة على هيئة حفريات.





شكل (١٢٠)

حفريات الراديولاريا (مكبرة جداً)

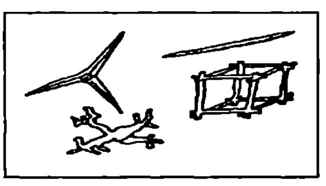
(ا) بودوسيرتيس ***Podocyrtis*** (الثلاثى).

(ب) تروكوديسكس ***Trochodiscus*** (الكربونى).

• شعبة المساميات (الإسفنجيات) Phylum Porifera

تعد الإسفنجيات أبسط الحيوانات عديدة الخلايا. وتفرز الإسفنجيات الحية المواد الكيتينية chitin، والسليكا silica وكربونات الكالسيوم calcium carbonat، أو الإسفنجين spongin لكى تكوّن أجساما صلبة صغيرة تشبه الإبر

(شكل ١٢١) تسمى الأشواك الإسفنجية spicules وهى تساعد على تدعيم الأنسجة الإسفنجية الرخوة وحمايتها. وبالرغم من عدم شيوع الإسفنجيات كحفريات، إلا أن أنواعا قليلة منها توجد بقلة فى صخور معينة من الحقب الباليوزوى Paleozoic Era. وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض الأشواك الإسفنجية لأنواع معينة قد توجد أحيانا على هيئة حفريات دقيقة. ومن المحتمل أن يكون أعضاء من شعبة الإسفنجيات قد عاشت خلال حقب ما قبل الكمبرى. وقد وجدت بالفعل إسفنجيات معينة وأشباه إسفنجيات فى الدور الكمبرى وشاعت فيه.



شكل (١٢١)
أشواك إسفنجية (مكبرة جدا)

• شعبة الجوفمعويات Phylum Coelentrata

تشمل شعبة الجوفمعويات مجموعة كبيرة من الحيوانات المائية عديدة الخلايا. وبالرغم من أن حيوانات هذه الشعبة أكثر تعقيدا من الإسفنجيات، إلا أنها تعد من الحيوانات البدائية. ويتميز الحيوان الحى بأن له جسما يشبه الجيب وفما محددا، ولوامس تحمل أكياسا لاسعة stinging capsules.

وتعد المراجين corals والأسماك الهلامية (قناديل البحر) jellyfishes من الأمثلة الجيدة للجوفمعويات. ومن بين الطوائف الشائعة للجوفمعويات، توجد طائفة الهدريات Hydrozoa والفنجانيات Scyphozoa (الأسماك الهلامية jellyfishes) والأنثوزوات (الزهريات) Anthozoa (المراجين corals، وشقائق النعمان sea anemones)، إلا أن الأنثوزوات فقط هى التى خلفت سجلا باليتولوجيا جيدا.

• طائفة الأنثوزوات (الزهريات) Class Anthozoa

أفراد هذه الطائفة حيوانات بحرية، وتشمل شقائق النعمان والمراجين. وهذه الأخيرة تعد مهمة من الناحية الجيولوجية.

وتفرز المراجين الوحيدة أو الشبيهة بالقرون، هياكل خارجية تشبه الكؤوس أو المخاريط، بينما تعيش المراجين المركبة معا في مستعمرات مكونة من أفراد عديدة متصل بعضها ببعض. وتقسم المراجين الحفرية إلى ثلاث مجموعات هي: المراجين المجعدة Rugosa، والمراجين السداسية Hexacorals، والصفائحيات Tabulates.

والمراجين المجعدة هي مجموعة منقرضة عاشت في حقب الحياة القديمة Poleozoic Era. وقد كونت أجزاء من شعاب ضخمة واستخدمت حفريات نطاقية في صخور الدورالكربونى. والمراجين بصفة عامة لا تعد حفريات نطاقية جيدة، نظرا لأن لها توزيعا محدودا. وقد تكون المراجين المجعدة إما مفردة solitary (مثل جنس *Zaphrentis*، أو على هيئة مستعمرات colonies (مثل جنس *Lithostrotion*) ولها حواجز محددة جيدا وصفائح حويصلية dissepiments (شكل ١٢٢ أ). وفى بعض المستعمرات المرجانية الكتلية الشكل، قد يفقد الجدار الذى يفصل بين المرجانات المفردة.

وتشمل المراجين المجعدة الشائعة الأجناس التالية:

Acervularia* ،*Calceola* ، *Caninia* ،*Dibonophyllum

Lithostrotion* ،*Lonsdaleia* ،*Palaeocyclus* ،*Palaeosmilia

Zaphrentis* ،*Phillipsatraea

وتتميز المراجين السداسية Scleractina بأنها قريبة الشبه جدا من المراجين المجعدة (الرباعية)، وأن لها حواجز مرتبة شعاعيا. وتوجد المراجين السداسية بداية من الدور الترياسى فأحدث، ولا توجد فى صخور حقب الحياة القديمة.

ويعتقد أن المراجين السداسية قد نشأت عن تطور المراجين الرباعية؛ لكن هذا لم يثبت بالتأكيد. وتشمل المراجين السداسية بعض الأجناس مثل:

***Thamnasteria* و *Montlivatia* و *Goniopora*.**

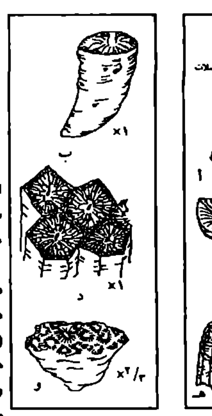
وتعد المراجين الصفائحية tabulate corals أقدم أنواع المراجين المعروفة، لكنها كانت هامشية وطغت عليها المراجين الرباعية فى حقب الحياة القديمة (الباليوزوى). وتبدو فيها الصفائح واضحة، لكن الحواجز إما أن تكون متقزمة stunted أو غير موجودة. وتوجد كافة المراجين الصفائحية على هيئة مستعمرات وقد تكوّن أشكالا كتلية أو توجد على هيئة سلاسل. وتشمل الأمثلة الشائعة من المراجين الصفائحية أجناس:

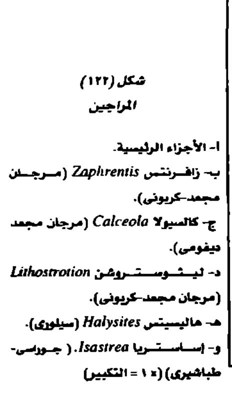
Heliolites ، ***Halysites*** ، ***Favosites*** ، ***Alveolites***

Pachypora، ***Pleuroticyum*** و ***Syringopora*** .

وهذه الأجناس تصنف غالبا فى رتبة الألسيوناريا Alcyonaria، نظرا لوجود تشابه ملحوظ بينها وبين المراجين الحديثة البانية للشعاب.







شكل (١٢٢)
المراجين

ا- الأجزاء الرئيسية.
ب- زافرنتس *Zaphrentis* (مرجان مجعد-كربونى).
ج- كالسيولا *Calceola* (مرجان مجعد ديفونى).
د- ليثوستروشن *Lithostrotion* (مرجان مجعد-كربونى).
هـ- هاليسيتس *Halysites* (سيلورى).
و- إساستريا *Isastrea*. (جوراسى- طباشيرى) (× ١ = التكبير)

والمراجين البانية للشعاب هي بالطبع، من الأشكال التي تعيش في مستعمرات وتعيش في البحار الضحلة الصافية الدافئة؛ وعليه فإن حفرياتها تعد أدلة جيدة على الظروف المناخية القديمة. وبصرف النظر عن شكل مشكوك فيه من المراجين وجد في صخور الدور الكمبرى فإنه من المعروف جيدا أن المدى الجيولوجي للمراجين يمتد بالتحديد من الدور الأردوفيشي إلى العصر الحديث، ولذلك فهي تعد إحدى أهم المجموعات الحفرية وبخاصة في صخور حقب الحياة القديمة.

• طائفة الهدريات Class Hydrozoa

بالرغم من العلاقة الضعيفة بين رتبة الاستروماتوبورات Order Stromatoporoidea وبين المراجين، إلا أن الاستروماتوبورات كانت في بعض الأزمنة مهمة كبانيات للشعاب. وكانت بداية ظهورها في الدور الأردوفيشي، لكنها بلغت أوجها في الدور الديفوني، كما أنها وجدت أيضا في صخور حقب الحياة المتوسطة وتتكون هذه الصخور من كتل من أنابيب «الاستروماتوبورا *Stromatopora*»، وهذا الجنس أكثر أفراد هذه الرتبة انتشارا، وهو يضاهي جنس «ميليبورا *Millepora*» وهو من الأجناس الحالية البانية للشعاب، وأيضا من الهدريات، لكنه من رتبة مختلفة.

• الديدان Worms

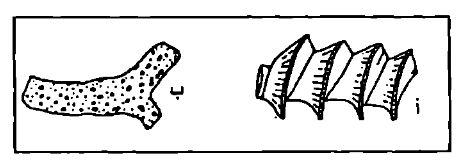
يطلق اسم الديدان worms على مجموعة كبيرة من الحيوانات المتنوعة التي تشمل ثلاث شعب three phyla، وهي:

الديدان المفلطحة "Platyhelminthes" flatworms، والديدان الأسطوانية "Nemathelminthes" round worms والديدان الدوارة rotifers "Trochelminthes".

ولما كان معظم الديدان لا يحتوى على أي هيكل صلب، فإن هذه الحيوانات لم تترك إلا سجلا حفريا ضئيلا أو لم تترك وراءها سجلا بالمرة. وليس هذا هو الحال في الديدان الحلقية annelid والتي سبقت الإشارة إليها من قبل.

- شعبة البريوزوا (الحزازانيات) Phylum Bryozoa

تشمل هذه الشعبة حيوانات صغيرة تعيش فى مستعمرات، يطلق عليه عادة «الحيوانات الحزازية moss animals» وهى واسعة الانتشار فى البحار الحديثة ويفرز كل حيوان هيكلا خارجيا دقيق الحجم يشبه الفنجان من مادة كيتينية أو جيرية قد يحفظ كحفرية (شكل ١٢٣).

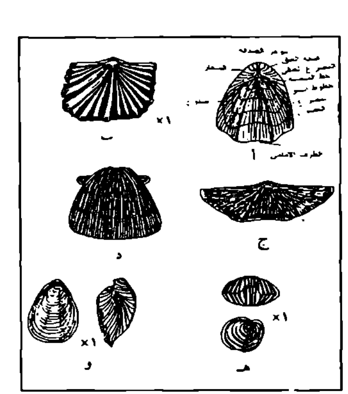


شكل (١٢٣)
البريوزوا
أ- ارشميدس *Archimedes* (الكربونى).
ب- ليوكليما *Lioclema* (الكربونى).

وتنتشر حفريات البريوزوا فى تكاوين معينة من صخور حقب الحياة القديمة، ويتردد مداها الزمنى بين الدورالأردوفيشى والحديث، ولو أنه قد سجلت منها أشكال مشكوك فيها بصخور الدور الكمبرى.

- شعبة المسرجانيات (ذراعيات الأقدام) Phylum Brachiopoda

تضم شعبة المسرجانيات مجموعة كبيرة من الحيوانات البحرية ذات أصداف تتكون الواحدة منها من مصراعين (شكل ١٢٤) وتتركب الصدفة من مواد جيرية أو فوسفاتية، تحوى الأجزاء الرخوة للحيوان بداخلها لحمايتها. وتلتصق المسرجانية البالغة بأرضية المحيط بواسطة عنق pedicle وهو جزء لحمى رخو، يخرج عادة من خلال فتحة المنقار؛ وهى فتحة فى المصراع العنقى. ويسمى المصراع الآخر من الصدفة باسم المصراع العضدى brachial، وهو عادة المصراع الأصغر. (يطلق على المصراعين المصراع البطنى «العنقى» والمصراع الظهرى «العضدى» على الترتيب).



شكل (١٢٤)
المرجانيات

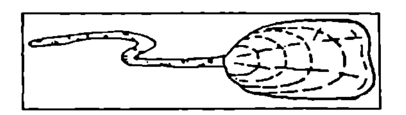
أ- (الأجزاء الرئيسية للمرجانيات المعشقة
ب- *Orthis* (باليوزوى).
جـ- *Spirifer* (الباليوزوى العلوى).
د- *Productus* (الباليوزوى العلوى).
هـ- *Rhynchonella* (سيلورى-حديث).
و- *Terebratula* (ديفونى-حديث)

وتقسم شعبة المرجانيات إلى طائفتين هما: المرجانيات غير المعشقة Inarticulata والمرجانيات المعشقة Articulata

- **طائفة المرجانيات غير المعشقة Class Inarticulala**

المرجانيات غير المعشقة هى أشكال بدائية إلى حد ما، ولها تاريخ جيولوجى طويل يمتد من الكمبرى المبكر Eearly Cambnan حتى الحديث Recent

وقد سجل حديثا وجود هذه الطائفة فى صخور ما قبل الكمبرى. ومعظم أفراد هذه الطائفة لها شكل بيضى أو شكل اللسان، ولا يوجد فيها ثقب للعنق، بل يلتصق المصراعان الواحد بالآخر بالعضلات وليس عن طريق مفصلة hinge بها أسنان (انظر فيما بعد). ويعد جنس لنجيولا *Lingula* (شكل ١٢٥) مثالا للمرجانيات غير المعشقة، وهناك أشكال شائعة أخرى مثل *Crania* و *Lingulella* و *Orbiculoidea*



شكل (١٢٥)

Lingula من المرجانيات غير المعشقة

- **طائفة المرجانيات المعشقة Class Articulata**

أفراد هذه الطائفة لهـا مفصلة محددة بوضـوح، ويوجد فـى أحد المصراعين أسـنان teeth تعـشق فى تجـاويف sockets توجـد فى المصـراع الآخـر. وتتمـيـز المـرجانيـات المعشقة بأن لهـا أصدافا جيـرية وفوسفاتية. وتتكـون كل صدفة من مصـراعين مختلفـين فـى الحجم فى الحالة النمـوذجية. وتتخـذ الأصداف أشكالا متعددة ومتباينة (شكل ١٢٤). وتقـسم المـرجـانيات المعشقة إلى رتبتين تنقـسم كل منهما إلى رتيبات sub-orders عديدة وذلك على أساس شكل الصدفـة وهيئتها. وتشمل المـرجانيات المعشقة أمثلة كثيرة نذكر منها:

Suborder تحترتبة	Examples الأمثلة
Strophomena	*Chonetes, Leptaena,, Productus, Strophomena*
Orthocea	*Orthis*
Pentameruacea	*Conchidium,Pentamerus, Strickladia,*
Spiriferacea	*Atrypa, Cyrtia, Spirifer ,*
Rhynchonellacea	*Pugnax, Rhynchonella*
Terebratulacea	*Stringocephalus, Terebratula*

ويمتد المدى الزمنى للمـرجانيات المعشقة من الكمبرى المبكر حتى الحديث، وهى حفريات منتشرة بشكل خاص فى الطبقات الحاملة للحفريات فى حقب الحياة القديمة.

- شعبة الرخويات Phylum Mollusca

تشمل شعبة الرخويات مجموعة كبيرة من الحيوانات المائية aquatic والبرية terrestial (land-dwelling). وتضم أفراد هذه الشعبة الأشكال المألوفة من القواقع والأصداف (clams) والأويستر oysters والحبار squids والأخطبوط octopuses. ومعظم الرخويات لها صدفة جيرية تعمل كأنها هيكل خارجي exskeleton وهذه الأجزاء الصلبة مهيأة تماما للحفظ كحفريات. لكن هناك رخويات مثل slugs وليس لها أصداف، بينما توجد أشكال أخرى مثل الحبار لها صدفة داخلية. ونظرا لوفرة الرخويات وتنوعها وامتدادها الطويل عبر الزمن الجيولوجى فإنها تعد من الحفريات المفيدة.

وتقسم شعبة الرخويات إلى خمس طوائف هى: الأمفينيورا Amphineura، وزورقيات الأقدام Scaphopoda والمحاريات Pelecypoda، والبطنقدميات Gastropoda، والرأسقدميات Cephalopoda. وتوجد طوائف المحاريات والبطنقدميات والرأسقدميات فقط كحفريات شائعة.

• طائفة المحاريات Class Pelecypoda

تتميز المحاريات رقائقية الخياشيم بصدفة تتكون من مصراعين من الجير (شكل ١٢٦أ)، يضمان الأجزاء الرخوة للحيوان. وللمحاريات حيوانات مائية توجد فى المياه العذبة كما توجد أيضا فى المياه الملحة. ومعظم المحاريات تتحرك ببطء على القاع الذى تعيش عليه مثل clam بينما البعض الآخر مثل الأويستر oysters يلتصق بالقاع. وأشكال أخرى مثل scallops تعيش سابحة فى الماء.

وتتركب صدفة المحاريات من مصراعين متساوين فى الشكل والحجم يرتبطان الواحد بالآخر برباط مرن يمتد على طول الجانب الظهرى للصدفة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن معظم الأشكال لها أسنان ومغارس teeth and sockets توجد على طول خط المفصلة hinge line. وتغطى الصدفة من الخارج مادة قرنية تسمى البشرة القرنية periostracum، بينما يغلف السطح الداخلى لكل مصراع سطيحة جيرية calcareous layer من مواد لها تركيب اللؤلؤ pearly أو الخزف porcellaneous. وبالرغم من تنوع أشكال الصدفة فى المحاريات (شكل ١٢٦) إلا أن معظمها يكون له شكل المحارة ذات المصراعين clam ويوجد المنقار beak الذى

يمثل أقدم أجزاء الصدفة على النهاية الأمامية للصدفة (المقدمة)؛ ويسمى الجزء الآخر من الصدفة باسم المؤخرة posterior. وإذا كانت الصدفة مستطيلة من الخلف، فهذا يدل على أن الحيوان كان مدفونا جزئيا. وتسمى الحافة السفلى لصدفة الحيوان (حيث يفتح المصراعان) باسم الحافة البطنية ventral margin. وكما سبقت الإشارة إليه فإن الحافة الظهرية dorsal margin هى الجانب العلوى الذى توجد على امتداده المفصلة والرباط. ويتميز المصراع من الداخل ببعض التراكيب مثل الأسنان والمغارس، ونُدب العضلات، وبعض الصفات التشخيصية diagnostic features. ويتميز الجانب الخارجي لكثير من الأصداف بوجود خطوط النمو المركزة concentric growth lines، وكذلك بوجود الأشواك والضلوع والتواءت وأنماط أخرى من الزخرفة. وفى العادة يتم حفظ حفريات رقائقيات



شكل (١٢٦)
المحاريات
أ- الأجزاء الرئيسية.
ب- *Tringonia* (جوراسى-حديث).
ج- *Modiola* (ديفونى-حديث).
د- *Pecten* (ترياسى - حديث).
هـ- *Inoceramus* (جوراسى-طباشيرى).
و- *Gryphacea* (جوراسى-أيوسين).

الخياشيم على هيئة قوالب moulds وصبّات casts، لكن الكثير منها يوجد بالمادة الأصلية للصدفة نفسها التى قد تظهر بها تغيرات ضئيلة تكون قد طرأت عليها. وكان أول ظهور لرقائقيات الخياشيم أو المحاريات فى الدور الأردوفيشى، وانتشرت خلال حقب الحياة القديمة المتأخر بصفة خاصة، وكذلك خلال حقب الحياة المتوسطة وحقب الحياة الحديثة.

وكما هو الحال فى المرجانيات، فإن رقائقيات الخياشيم تتنوع وتقسم إلى رتب عديدة وكذلك إلى رتيبات suborders على أساس الصفات التشريحية المختلفة مثل خط المفصلة. ولرقائقيات الخياشيم أشكال شتى، من الأشكال الشائعة منها:

Astarte , Carbonicola, Cardiola, Cardita

Cardium, Exogyra, Glycimeris, Gryphaea

Inoceramus, Lima, Mya, Ostrea

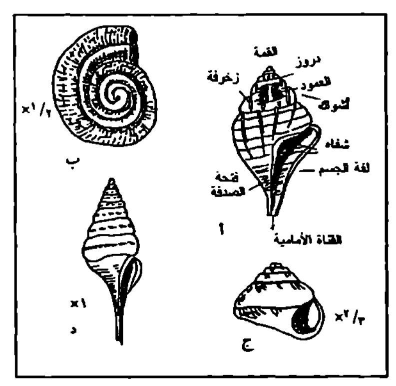
Pecten, Spondylus, Trigonia, Venus

• طائفة البطنقدميات (القوقعيات) Class Gastropoda

تتميز صدفة البطنقدميات فى صورتها النموذجية بأنها صدفة ذات مصراع واحد، ملفوفة لفا حلزونيا وهى صدفة غير مقسمة إلى حجرات. ومعظم البطنقدميات لها خياشيم وتعيش فى المياه البحرية الضحلة، ويعيش بعضها فى المياه العذبة أيضا، كما أن بعضها يعيش على البر ويتنفس عن طريق رئة.

وكان أول ظهور البطنقدميات فى الدور الكمبرى المبكر واستمرت حتى العصر الحديث. ومعظم حفريات البطنقدميات وحتى تلك الأشكال الحديثة منها تتنوع أشكالها وأحجامها وأنماط زخرفتها (شكل ١٢٧) وقد تكون الصدفة مسطحة flat أو ملفوفة لفا حلزونيا أو على شكل المخروط أو على شكل البرج turreted أو اسطوانية الشكل. ويسمى جزء الصدفة المغلق الذى يشير إلى نهايتها بالقمة apex، وكل دورة من الصدفة باسم لفة whorl، وتسمى أكبر لفة وآخر لفة فى التكوين باسم لفة الجسم body whorl وتسمى فتحة الصدفة باسم الفُرْجة aperture

وتوجد فى لفة الجسم. ويتكون الحلزون spire من كل اللفات ماعدا لفة الجسم. وفى معظم الحالات، يكون اتجاه لف الصدفة يمينيا dextral، لكن هناك أشكالا من أصداف البطنقدميات يكون اتجاه لف الصدفة فيها يساريا sinistral فى أجناس وأنواع معينة. ويعرف الجزء الخارجى من الفُرْجة بالشفة الخارجية outer lip، والجزء الداخلى منها يعرف بالشفة الداخلية inner lip. وتستطيع بعض القواقع أن تغلق الفُرجة بواسطة لوح يتكون من مادة قرنية أو جيرية. وهذا اللوح يغلق الفُرجة بإحكام حينما يسحب الحيوان نفسه إلى داخل الصدفة. وكثير من البطنقدميات حفظت على هيئة قوالب خارجية أو قوالب داخلية وبخاصة تلك الحفريات الموجودة فى صخور حقب الحياة المتوسطة وكذلك حقب الحياة القديمة.



شكل (١٢٧)
البطنقدميات

أ- (الأجزاء الرئيسية).
ب- إيومفالوس *Euomphalus* (سيلورى - ترياسى).
جـ- بليروتوماريا *Pleurotomaria* (ترياسى- حديث).
د- فيوزينوس *Fusinus* (طباشيرى - حديث).

ويتكون القالب الداخلى بعد موت الحيوان وبعد تحلل أجزائه الرخوة، وبعد ذلك تمتلئ الصدفة بالرواسب التى تتصلب فيما بعد. وقد تزول الصدفة بعد ذلك نتيجة لعملية التجوية أو بواسطة الفعل الإذابى للمحاليل، فينكشف القالب الداخلى internal mould ويسمى هذا النوع من القوالب باسم *steinkern*، وفى العادة فإنه لا يظهر أية صفات داخلية للصدفة.

ومن البطنقدميات المنتشرة والمميزة :

Conorbis, Bellerophon, Euomphalus, Fusinus

Planorbis, Turritella, Viviporous, Voluta

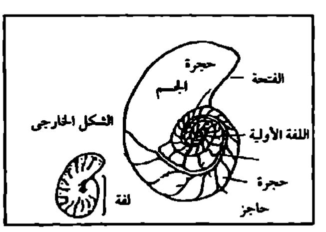
• طائفة الرأسقدميات Class Cephalopoda

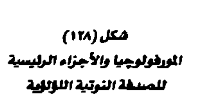
الرأسقدميات رخويات بحرية قد تكون لها صدفة أو تكون بلا صدفة. وفى حالة وجود الصدفة فقد تكون داخلية أو خارجية، وقد تكون بدون حواجز أو مقسمة بالحواجز إلى حجرات chambers والرأسقدميات حيوانات بحرية بصفة عامة وهى من آكلات اللحوم carnivorous. وهى حيوانات حرة (غير ملتصقة) unattached وتعد أكثر أنواع الرخويات تطورا وذات درجة مرموقة بين الحفريات المرشدة، وتشمل الحبّار squid، والأخطبوط octopus، وجنس *Nautilus* اللؤلؤى، وكذلك الأشكال المنقرضة من الأمونيدات ammonoids. ويمتد المدى الجيولوجى للرأسقدميات من الدور الكمبرى إلى العصر الحديث، لكنها كانت أكثر انتشارا فى البحار القديمة مما هى عليه الآن فى البحار الحديثة. وتقسم طائفة الرأسقدميات إلى ثلاث طويئفات هى: النوتيلويدات Nautiloidea أو رباعية الخياشيم (ويمثلها فى الأزمنة الحالية جنس نوتلس اللؤلؤى Pearly Nautilus، وطويئفة الأمونيدات Ammonoidea (المنقرضة)، وطويئفة كوليديا)Coleoide(الأخطبوط والحبّار). والنوتيليدات Nautiloids والأمونيدات Ammonoids هى أكثر المجموعات الحفرية أهمية بين هذه الطويئفات.

• طويئفة نوتيلويديا Subclass Nautiloidea

تعد طويئفة النوتيلويدا من الرأسقدميات التى لها صدفة خارجية مقسمة إلى حجرات. والحواجز septa فيها بسيطة وذات حواف ناعمة. وتتمثل هذه الطويئفة بشكل وحيد يعيش الآن هو *Nautilus*، وبأعداد كثيرة من الأشكال المتحفرة.

وتتكون صـدفة جنس *Nautilus* من كـربونات الكالسيوم، وتلتف الصـدفة لفـا حلزونيا مسطحا (شكل ١٢٨). ويقسم داخل الصدفة إلى سلسلة من الحجرات تفصلها حواجز جيرية septa ويسمى خط الاتصال بين الحواجز والسطح الداخلى للصدفة باسم خط الدرز suture line ولا يمكن رؤية خطوط الدرز (انظر شكل ١٢٩) إلا إذا أزيلت الصدفة الخارجية، لكن يمكن رؤيتها على القالب الداخلى لكثير من حفريات الرأسقدميات، وخطوط الدرز مهمة فى تصنيف النوتيلويدات والأمونيدات. وتتميز النوتيلويدات بخطوط درز بسيطة منحنية بلطف، لكن الأمونيدات تتميز بخطوط درز أكثر تعقيدا وأكثر تعرجا. وبالرغم من أن صدفة جنس نوتلس وهو الوحيد الذى يعيش حتى الآن هى من النوع الملتف Coiled، فإن أشكالا قديمة سابقة كانت غير ملتفة أو كانت أصدافها مخروطية الشكل. وقد بلغ طول بعض أشكال النوتيلويدات القديمة فى حقب الحياة القديمة المبكر حوالى خمسة عشر قدما. وقد جمعت أقدم حفريات معروفة للنوتيلويدات من صخور الكمبرى السفلى، وكانت شائعة بدرجة أكبر خلال حقب الحياة القديمة





شكل (١٢٨)
المورفولوجيا والأجزاء الرئيسية للصدفة النوتية اللؤلؤية

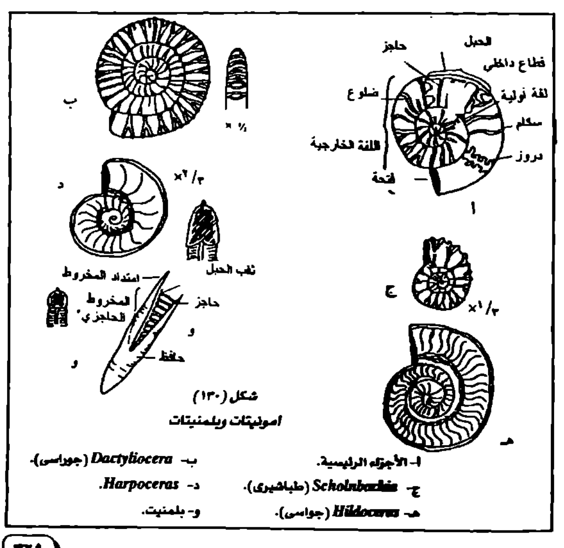
شكل (١٢٩)
نمط الدروز المميزة للرأسقدميات
ا- نوتيلى. ب- جونياتيتى.
ج- سيراتيتى. د- اموديتى.

أكثر مما هى عليه الآن. وكان جنس *Orthoceras* من الأشكال الشائعة المستقيمة أو المنحنية انحناءً بسيطا، وقد استمر انتشاره من الدور الأردوفيشى حتى الدور الترياسى.

• طويئفة الأمونيدات Subclass Ammonoidea

أعضاء هذه الطويئفة من الرأسقدميات المنقرضة وهى ذات علاقة قربى بالنوتيلويدات، لكنها تتميز بنظام لخطوط الدرز أكثر تعقيدا.

ولهذه الطويئفة صدفة خارجية متجزئة partitioned، وقد تكون مستقيمة، أو منحنية، أو ملتفة لفا حلزونيا (شكل ١٣٠) وقد بدأ أول ظهورها فى الدور الديفونى، وكانت متنوعة ومنتشرة إبان حقب الحياة المتوسطة ثم ما لبثت أن انقرضت بنهاية الدور الطباشيرى.



شكل (١٣٠)
امونيتات وبلمنيتات

أ- الأجزاء الرئيسية. ب- *Dactyliocera* (جوراسى).
ج- *Scholnbachia* (طباشيرى). د- *Harpoceras*.
هـ- *Hildoceras* (جوراسى). و- بلمنيت.

ويوجد فى طويئفة الأمونيدات ثلاثة أنماط من خطوط الدرز: الدرز الجونياتيتى goniatitic (وهو خط درز منحنٍ وزاو) وخط الدرز السيراتيتى ceratitic، (وهو منحنٍ وبه عدد أكبر من الفصوص بعضها مشرشر مثل الأسنان)، والنمط الثالث هو خط الدرز الأمونيتى ammonitic وهو أكثر تعقيدا من النوعين السابقين. وحفريات الرأسقدميات ذات خط الدرز الأمونيتى يمتد مداها الزمنى من الدور الكربونى إلى الدور الطباشيرى وكانت أكثر الرأسقدميات انتشارا فى حقب الحياة المتوسطة. وتتميز الكلمينيدات *Clymeniids* ونموذجها *Clymenia* بأنها مجموعة فريدة يكون اتجاه اللف فيها على عكس ما فى الأمونيتات Ammonites جميعا، وكذلك كان لها عمص siphuncle عند الحافة الداخلية (شكل ١٢٨). وتتميز الجونياتيتات بخطوط درز بسيطة، وفيما يلى ذكر لبعض الأمونيتات والتى تعد من الأشكال المنتشرة.

Amaltheus	***Ceratites***	***Dactylioceras***
Hamites	***Harpoceras***	***Hildoceras***
Hoplites	***Lytoceras***	***Phylloceras***
Schloenbachia	***Stephanoceras***	***Turrilites***

ويلاحظ أن جنس *Turrilites* كان ذا شكل حلزونى.

• طويئفة الكوليات Subclass Coleoidea

تتميز هذه الطويئفة من الرأسقدميات بأن لها صدفة داخلية أو لا توجد لها صدفة على الإطلاق، وتشمل هذه الطويئفة الحبّار والأخطبوط وكذلك البلمنيتات المنقرضة. ويبدو أن البلمنيتات تمثل بقايا حفريات كائن حى يشبه السمك الحبّار الموجود حاليا. وقد سميت البلمنيتات «أصابع الأحجار» finger stones نظرا لشكلها المميز؛ كذلك يطلق عليها حفريات السيجار fossil cigar. ويمتد المدى الزمنى لهذه الطويئفة من الدور الكربونى حتى الدور الطباشيرى، وتوجد أنواع معينة من هذه الطويئفة تُستخدم حفريات مرشدة لدورى الجوراسى والطباشيرى.

• شعبة الديدان الحلقية Phylum Annelida

الديدان الحلقية ديدان شدفية (يتكون جسمها من عُقَل) كدودة الأرض الشائعة وتعيش هذه الديدان فى البيئات البحرية والمياه العذبة وكذلك على البر. ويظهر أن هذه الديدان كانت منتشرة بكثرة خلال معظم التاريخ الجيولوجى، ولما كانت هذه الديدان لا تحتوى على أجزاء صلبة، فلم تترك من بقاياها سوى أدلة صغيرة عن أنشطتها فى الماضى الجيولوجى. ومع ذلك فقد تركت بعض الديدان الحلقية بقايا عبارة عن أنابيب جيرية calcareous tubes وفكوك وأسنان كيتينية تسمى scolecodonts وكذلك تركت حجورا burrows وثقوبا borings .

وقد عثر على بقايا غير مشكوك فيها للديدان الحلقية فى صخور يمتد عمرها الجيولوجى من الدور الكمبرى حتى العصر الحديث. ومن المحتمل أن يكون وجود بعض الآثار والحفر tracks and burrows التى عثر عليها فى صخور لحقب ما قبل الكمبرى، من الأدلة على وجود الديدان الحلقية فى فترة سبقت الدور الكمبرى .

• شعبة المفصليات Phylum Arthropoda

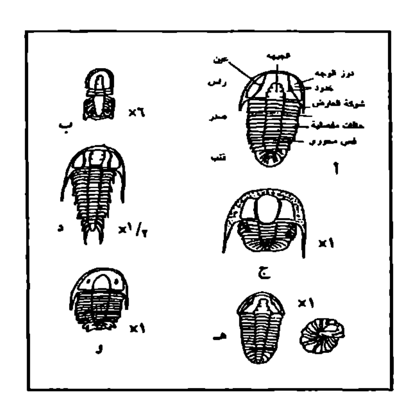
تضم هذه الشعبة إحدى أكثر مجموعات اللافقاريات تقدما. وهى معروفة منذ الدور الكمبرى حتى العصر الحديث. ويمثل هذه الشعبة فى العصر الحالى سرطان البحر crabs، والروبيان shrimps وجراد البحر crayfish، والحشرات insects، وكذلك العنكبوت spider.

وتختلف المفصليات فى أشكالها وأحجامها اختلافا واسعا وتعد من أكثر الأصناف انتشارا فى عالم الحيوان. وقد أقلمت نفسها على المعيشة فى كل الظروف والبيئات سواء على البر أو فى الماء أو فى الهواء.

وبالرغم من أهميتها الهائلة فى الوقت الحالى، إلا أن ما يهتم به المختص بعلم الحفريات القديمة «الباليتولوجيا» مجموعات قليلة من شعبة المفصليات وهى: الترايلوبيتات subclass triobita «ثلاثيات الفصوص"، والأستراكودات subclass ostracoda، وعقارب البحر eurypterids.

•الترايلوبيتات Trilobites

هذه أعضـاء من طائفة الـترايلوبيـتات Trilobita التى تنتـمى إلى شعـبيـة الترايلوبـيتومـورفا Trilobitomorpha. والترايـلوبيتـات مـفصليات بحـرية بدون استثناء. وتأخـذ هذه المجموعة اسمهـا من كون الجسم منقسمـا إلى ثلاثة أقسام: (tri= 3, lobe= part). ويوجد الجـسم داخل هيكل خـارجى من مادة الكيـتين، ويتكـون أيضـا من ثـلاث مناطـق: منطقـة وسطى(الفـص المحـورى) ومنطقـتان (فصـان) جانبـيان (شكل ١٣١) وينقـسم الجسم أيضا من الأمـام إلى الخلف إلى الرأس cephalon والصـــدر thorax، والذنب pygidium. وفى بعـض الأنواع تترتب شـدف الصدر بطريقة تـسمح للحيوان بأن يـلتف على هيئة كـرة· وقـد عثر على كثير مـن الترايلوبيتات فى هـذا الوضـع (شكل ١٣١).



شكل (١٣١)

الترايلوبيتات

أ- الأجزاء الرئيسية. ب- *Agnostus* (باليوزوى سفلى).

جـ- *Trinucleus* (اردوفيشى). د- *Paradoxides* (كمبرى).

هـ- *Calymene* (سيلورى). و- *Angelina* (اردوفيشى).

وقد بذلت محاولات عديدة لتصنيف الترايلوبيتات على أساس أنها إما أن تكون متساوية الذنب isopygous (أى أن ذَنَبها مساوٍ لرأسها فى الحجم)، أو أنها تكون عمياء blind (ليس لها عيون)، أو على أساس وضع درز الوجه facial suture. وفيما يلى أسماء قليل من الترايلوبيتات الشائعة:

Acidaspis, Agnostus, Angelina, Asaphus, Calymene

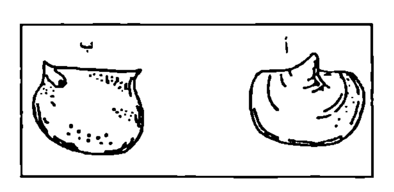
Olenellus, Olenus, Paradoxides, Phacops, Trinucleus

ويمتد المدى الجيولوجى للترايلوبيتات من الدور الكمبرى حتى الدور البرمى. وكانت الترايلوبيتات منتشرة بصفة خاصة خلال بعض الفترات الزمنية فى حقب الحياة القديمة المبكر.

• الأستراكودات Ostracods

تضم طائفة الأستراكودات ostracoda مفصليات دقيقة ثنائية المصراع. وتنتمى هذه الطائفة إلى شعبة القشريات sub-phylum crustacea والتى تضم أيضا سرطان البحر crabs والروبيان shrimps وجراد البحر lobsters and cray fish. وتشبه الأستراكودا من الخارج المحاريات ثنائية المصراع الصغيرة small clams، فهى قشريات مائية صغيرة (شكل ١٣٢)· وعلى أى حال فالحيوان الموجودة فى صدفته له كل الصفات المتكاملة للمفصليات. ويمتد المدى الزمنى للأستراكودات من الدور الأردوفيشى إلى العصر الحديث.

وتعد الأستراكودات من الحفريات الدقيقة المفيدة نظرا لحجمها الصغير.

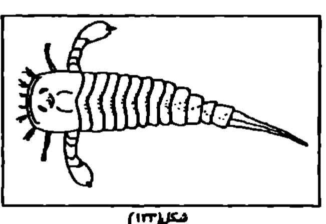


شكل (١٣٢)

استراكودا من الباليوزوى (مكبرة جدا)

• العقارب البحرية Eurypterids

الحقت هذه المفصليات المنقرضة بطائفة ذوات الشغيرات class merostomata التى تتبع شعبة الكلاّبيات sub-phylum chelicerata التى تضم العقارب scorpions، والعنكبوت spider والسوس mites، والقراد ticks، وكذلك سرطان البحر الملك king crab. وكانت العقارب البحرية Eurypterids تتخذ أشكالا مائية تشبه العقارب البرية المعتادة وتتميز بزوائد تشبه الجناح العريض الممتد (شكل ١٣٣). ويعتقد أن بعضها كانت له غدة للسم وزبانى للدغ.



شكل (١٣٣)

Eurypterid من مفصليات الباليوزوى المبكر

وبالرغم من عدم شيوع هذه المفصليات المنقرضة كحفريات، إلا أنها توجد فى بعض صخور الدور السيلورى والدور الديفونى فى تكويناتهما المحلية، ويمتد عمرها الجيولوجى من الأردوفيشى المبكر إلى الدور البرمى.

• شعبة الجلدشوكيات Phylum Echinodermata

تشمل الجلدشوكيات مجموعة كبيرة من الحيوانات البحرية بدون استثناء، معظمها له تماثل خماسى مميز. والحيوان فى حد ذاته معقد إلى حدٍ ما، وله هيكل يتكون من ألواح جيرية عديدة ملتحمة بعضها مع بعض بطريقة معقدة وتغطيها من الخارج طبقة جلدية تسمى الغلاف integument . وكثير من الجلدشوكيات له جسم يشبه النجمة تماما، لكن هناك أنواعا تأخذ شكل القلب heart- shaped أو شكل الكعكة أو شكل الخيار. وحفريات الجلدشوكيات واسعة الانتشار فى الصخور الرسوبية البحرية فى كل العصور.

وقد قسمت شعبة الجلدشوكيات إلى شعيبتين sub-phyla: هما الجلدشوكيات الجالسة Pelmatozoa، والجلدشوكيات الهائمة Eleutherozoa .

- شعيبة الجلدشوكيات الجالسة Sub-phylum Pelmatozoa

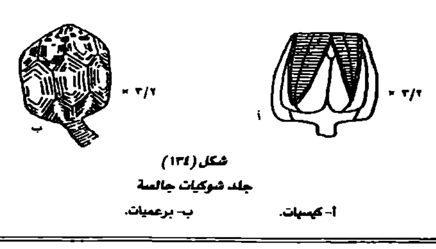
هذه هي الجلدشوكيات التي تلتصق عموما بقاع البحر بواسطة ساق من مواد جيرية تتكون من قطع هيكلية قرصية الشكل ضئيلة الحركة.

والمدى الجيولوجي لهذه الشعيبة يبتدئ من الدور الكمبري حتى العصر الحديث، لكنها تنتشر بشكل خاص كحفريات في صخور حقب الحياة القديمة مع أنها لم تستخدم كحفرية نطاقية إلا في حالة وحيدة في الطباشير chalk من حقب الحياة المتوسطة Mesozoic.

وبالرغم من تقسيم الجلدشوكيات الجالسة إلى طوائف عديدة، إلا أننا سنذكر في هذا الكتاب ثلاث منها فقط، هي: طائفة الكيسيات Cystoidea وطائفة البرعميات Blastoidea وطائفة الزنبقانيات Crinoidea. وجميع الجلدشوكيات الجالسة منقرضة تماما ماعدا طائفة الزنبقانيات .

- طائفة الكيسيات Class Cystoidea

هذه طائفة بدائية منقرضة من الجلدشوكيات، وكانت منتشرة نسبياً خلال حقب الحياة القديمة المبكر. وتتميز الكيسيات بأن لها كأسا calyx ذات شكل كروي أو كيسي (وهو الهيكل الأساسي) الذي يتكون من ألواح جيرية عديدة تترتب بلا نظام (شكل ١٣٤ أ) وكان الحيوان يلتصق بقاع البحر بواسطة ساق



شكل (١٣٤)

جلد شوكيات جالسة

أ- كيسيات. ب- برعميات.

قصيرة. وكانت الكيسيات منتشرة بصفة خاصة فى الدورين الأردوفيشى والسيلورى، لكن مداها الزمنى يمتد من الكمبرى حتى الديفونى.

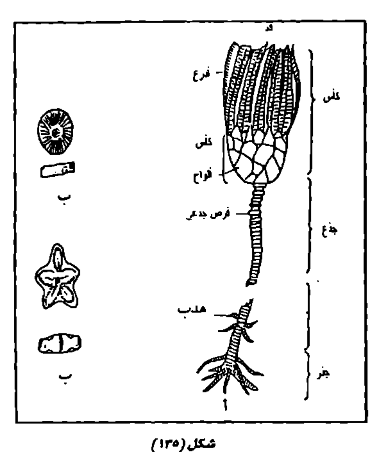
• طائفة البرعميات Class Blastoidea

أعضاء هذه الطائفة من الجلدشوكيات المنقرضة، كانت لها سوق قصيرة متصلة بكأس صغيرة متماثلة وعلى شكل البرعم. ويوجد الفم بالقرب من مركز الكأس وتحيط به خمس فتحات تسمى الفتحات الخيشومية spiracles وتتفرع من الفم خمسة مجار غذائية «food grooves» ممتدة إلى أسفل. والمدى الزمنى للبرعميات يمتد من الدور الأردوفيشى حتى الدور البرمى، لكنها كانت شائعة الانتشار بصفة خاصة خلال الدور الكربونى .

• طائفة الزنبقانيات Class Crinoidea

تسمى عادة باسم زنابق البحر sea-lilies لأن مظهرها يشبه الزهور. وهى الطائفة الوحيدة من الجلدشوكيات الحالية التى لاتزال موجودة حتى اليوم. ويتكون الكأس الزنبقانى crinoid calyx من ألواح عديدة مرتبة بنظام تماثلى symmetrically arranged. ومعظم الزنبقانيات لها جزع طويل (شكل ١٣٥)، أما بقية الزنبقانيات فتسبح بحرية free-swimming فى مرحلة النضوج، وتلتصق فقط فى الأطوار الأولى من نموها. وللزنبقانية النموذجية كأس يشبه الفنجان وله خمسة مجار تشع منه وتخرج من المركز فى اتجاه الخارج، وتستخدم هذه المجارى فى إمداد الفم بالغذاء، وتمتد هذه المجارى على طول الأذرع المعقدة. ويتكون الجذع stem من ساق طويلة مرنة تتكون من قطع جيرية عديدة تشبه الأقراص تسمى الأقراص الجذعية columnals. والقرص الجذعى مستدير أو على شكل النجمة؛ ويوجد فى كل قرص ثقب عند المركز. وتنفصل هذه الأقراص الجذعية عندما يموت الحيوان وتوجد أحجار جيرية معينة من حقب الحياة القديمة تحتوى كميات كبيرة من هذه الأقراص الجذعية، ولذلك تسمى الأحجار الجيرية الزنبقانية. وتلتصق جذوع الزنبقانيات بقاع البحر بواسطة مواسك؛ وهى بنيات تتفرع من الجذع إلى الرواسب المحيطة وتعمل على ربط الحيوان بقاع البحر. والمدى الزمنى للزنبقانيات يبدأ من الدور الأردوفيشى حتى العصر الحديث. وتنتشر بقاياها بوفرة

فى طبقات حقب الحياة القديمة. وغالبية الزنبقانيات التى تعيش الآن من الهائمات ولا سوق لها stemless، وتسمى نجوم الريش "feather - stars".



شكل (١٣٥)

زنبقانيات

ا- الأجزاء الرئيسية. ب- أقراص جذعية.

• شعيبة الجلدشوكيات الهائمة Sub- phylum Eleutherozoa

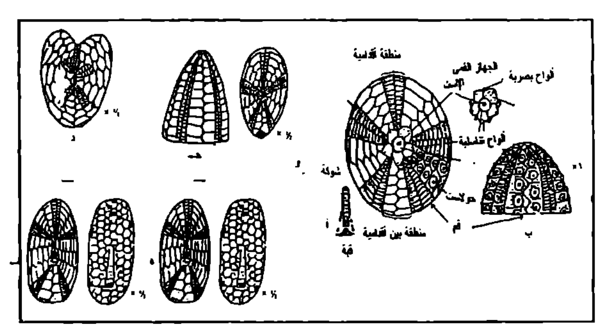
تعيش هذه الشعيبة من الجلدشوكيات الهائمة غير مثبتة وتسبح بحرية على القاع. ولقد قسمت هذه الشعيبة إلى ثلاث طوائف هى: طائفة النجميات Stelleroidea (الأسماك النجمية starfishes، والنجوم الهشة brittle stars)، وطائفة القنفذانيات Echinoidea (قنافذ البحر sea-urchins)، وطائفة الخياريات Holothuroidea (خيار البحر Sea-Cucumbers). ومن بين هذه الطوائف الثلاث تعد القنفذانيات أهمها من الناحية الحفرية.

• طائفة النجميات Class Stelleroidea

النجميات طائفة من الجلدشوكيات حرة الحركة ولها شكل نجمى، وتضم أشكالا مالوفة مثل الأسماك النجمية starfishes والنجوم الثعبانية serpent stars أو النجوم الهشة. وبالرغم من عدم وجود حفريات مفيدة بين هذه المجموعة، إلا أن مداها الجيولوجى طويل ويمتد من الدور الأردوفيشى حتى الحديث.

• طائفة القنفذانيات Class Echinoidea

تضم هذه الطائفة مجموعة من الجلدشوكيات الهائمة غير المثبتة والتى تتكون أجسامها من ألواح جيرية عديدة وأشواك. ولا توجد فى أفراد هذه الطائفة امتدادات متشعبة تشبه الذراع كما هو الحال فى طائفة النجميات، لكن أجسامها تتخذ أشكالا قرصية أو قلبية أو كعكية أو كروية (شكل ١٣٦) وتشمل



شكل (١٣٦)

القنفذانيات

أ- الأجزاء الرئيسية.

ب- *Cidaris* (منتظم-جوراسى-طباشيرى).

ج- *Conulus* (غير منتظم-طباشيرى).

د- *Micraster* (غير منتظم-طباشيرى).

هـ- *Echinocorys* (غير منتظم-طباشيرى).

و- *Clypeus* (غير منتظم-جوراسى).

القنفذانيات الحديثة أشكالا مألوفة مثل قنافذ البحر sea-urchins والقنافذ القلبية heart-urchins.

وتتكون الدرقة (الهيكل الخارجى) فى القنفذانيات من ألواح جيرية ملتحمة بعضها مع بعض بطريقة معقدة، وتضم الجزء الرخو للحيوان لتحميه. ويغطى الدرقة من الخارج عدد وافر من الأشواك المختلفة الحجم التى تستخدم للمساعدة على الحركة وتدعيم الدرقة وحمايتها. وتقسم القنفذانيات إلى رتبتين هما: القنفذانيات المنتظمة أو المنتظمات regularia، والقنفذانيات غير المنتظمة أو غير المنتظمات irregularia. والقنفذانيات المنتظمة مستديرة الشكل وتوجد الإست anus فى المركز وتماثل الدرقة شعاعى تماما. وتوجد هذه الرتبة من الدور الأردوفيشى فصاعدا. ومن بين الأجناس التى تضمها هذه الرتبة:

Archaeocidaris, Cidaris, Echinus, Hemicidaris, Melonechinus

وتفقد القنفذانيات غير المنتظمة التماثل الشعاعى (نتيجة لتحرك الإست، وتحرك الفم غالبا)، لكنها تظهر تماثلا ثنائيا جانبيا ولا توجد غير المنتظمات فى حقب الحياة القديمة، لكنها تنتشر بوفرة فى صخور الدورين الجوراسى والطباشيرى، وتستخدم على نطاق واسع كحفريات نطاقية فى الطباشيرى وأشهر ثمانية أجناس من غير المنتظمات هى:

Clypeaster, Conulus, Discoidea, Echinocorys, Holaster, Holectypus, Micraster, Pygaster.

• طائفة الخياريات Class Holothuroidea

يتميز خيار البحر بجسمه الذى يشبه الكيس أو ثمرة الخيار cucumber-shaped، ولا تحفظ الخيارات كحفريات نظرا لعدم وجود أجزاء صلبة فيها، باستثناء قضبان أو ألواح جيرية صغيرة تسمى العُظَيْمات ossicles . وقد سجل وجود هذه العظيمات من قديم فى صخور الدور الكربونى. كذلك وجدت آثار أو أشكال تشبه خيار البحر من صخور الكمبرى الأوسط فى كندا. ويشكل خيار البحر جزءا بسيطا من الحيوانات البحرية الموجودة حاليا.

• شعبة الحبليات Phylum Chordata

يتميز أعضاء هذه الشعبة بوجود جهاز عصبي متطور جدا، وبجسم تدعمه عظام أو غضاريف أو عمود فقري spinal column. ومن بين شعيبات الحبليات العديدة، يهمنا كمختصين في علم الحفريات، شعيبتين هما: نصف الحبليات Hemichordata (التي تضم الجرابتوليتات المنقرضة)، والفقاريات (التي تشمل كل الحيوانات التي لها عمود فقري backbone.

- شعيبة نصف الحبليات Sub- Phylum Hemichordata

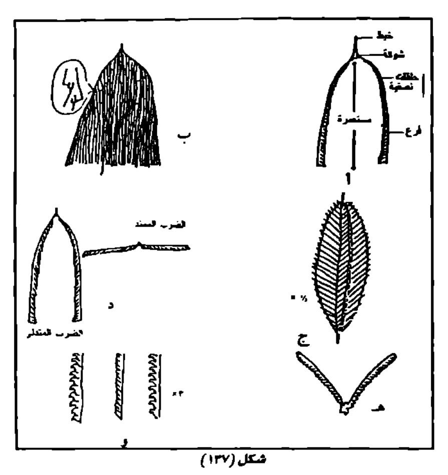
لا يوجد في شعيبة نصف الحبليات عمود فقري حقيقي، ولكنها تتميز بوجود حبل ظهري notochord يمتد بطول الجسم. وتعد طائفة الجرابتوليثينا هي المهمة من الناحية الباليتولوجية.

• طائفة الجرابتوليثيات Class Graptolithina

الجرابتوليثيات مجموعة من الحيوانات المنقرضة التي كانت تعيش على هيئة مستعمرات colonial animals، وكانت منتشرة خلال حقب الحياة القديمة المبكر. وتتميز بهيكل خارجي كيتيني، يتكون من صفوف من كؤوس وأنابيب تأوي الحيوان الحي، وهذه تنمو على طول سوق منفردة أو متفرعة (شكل ١٣٧) كانت تلتصق بالصخور أو بالأعشاب البحرية أو بأية أجسام غريبة. وكانت بعض الجرابتوليتات تلتصق بالأجسام الطافية وهذا ساعد على أن يكون لها انتشار واسع. وتقسم الجرابتوليثينات إلى عدة رتب؛ أهمها رتبة الشجرانيات Dendroidea ورتبة الجرابتوليتويدات Graptolitoidea.

وتعد الشجرانيات من الجرابتوليتات عديدة التفرع ولها ثلاثة أنماط من الأغلفة sheaths. وقد تتصل الأفرع من الداخل بواسطة نسيج فاصل أو حاجز dissepiment. والمدى الزمني للشجرانيات يبدأ من الدور الكمبري حتى الدور الديفوني، ومن أكثر الأمثلة انتشارا:

Colonogrptus, Callograptus, Dictyonema, Dendrograptus.



شكل (١٣٧)

الجرابتوليتات

أ- الأجزاء الرئيسية. ب- *Dictyonema* (باليوزوى سفلى).

ج- *Phyllograptus* (اردوفيشى). هـ- *Dicellograptus* (اردوفيشى).

د- *Didemograptus* (اردوفيشى). و- *Monograptus* (سيلورى).

والجرابتوليتويدات لها عدد أقل من الأفرع (فرع أو فرعين أو أربعة أفرع فى العادة) ولها أغلفة أقل عددا. وهى مميزة لصخور الدورين الأردوفيشى والسيلورى. وتضم هذه الجرابتوليتات أجناسا شائعة كثيرة، نذكر منها:

Climacograptus, Bryograptus, Dicellograptus

Cyrtograptus, Didymograptus, Dicranograptus

Phyllograptus .Monograptus, Diplograptus, Retiolites, Rastrites,

ولقد كانت هناك شكوك حول الوضع التصنيفى لهذه الحيوانات التى وضعت فى التقسيمات القديمة على أنها من الهدريات Hydrozoa أو الفنجانيات

Scyphozoa أو الجرابتوزوات Graptozoa التى تنتمى إلى شعبة الجوفمعويات Coelentrata، لكن الدراسات الحديثة ترى أن الجرابتوليتات هى نوع من الحبليات المنقرضة.

وقد سجل وجود الجرابتوليتات فى صخور من الدور الكمبرى حتى الدور الكربونى، وهى مفيدة بصفة خاصة كحفريات مرشدة فى أنواع معينة من الطفلة السوداء من عصرى الأردوفيشى والسيلورى حيث تحفظ بقاياها عادة على هيئة آثار كربونية مبططة.

- شعيبة الفقاريات Sub- Phylum Vertebrata

تعد الفقاريات أكثر الأنواع تطورا فى شعبة الحبليات، وتتميز بوجود جمجمة، وهيكل داخلى من العظام أو الغضاريف وكذلك عمود فقرى vertebral columm عظمى أو غضروفى. وتنقسم هذه الشعيبة عامة إلى فوق طائفتين Superclasses هما الأسماك pisces وما يشبهها؛ وفوق طائفة ذوات الأربع Tetrapoda؛ بما فيها الثعابين التى لها أقدام آثارية ولا وظيفة لها.

وبالرغم من أن الجيولوجيين يقومون بالمضاهاة الحفرية paleontological correlations باستخدام الحفريات اللافقارية invertebrate fossils، إلا أن بقايا الفقاريات أمدتهم بمعلومات باليتولوجية مفيدة كانوا فى أشد الحاجة إليها. وبالإضافة إلى ذلك فإن حفريات فقارية مثل بقايا الدينوصورات dinosaurs والأسماك العملاقة giant fishes والماموثات mammoths والنمور المُسَيَّفة الأسنان sabre- toothed tigers وغيرها، تعد من أكثر الحفريات تشويقا ومن أكثرها إبهارا.

• فوق طائفة الأسماك Superclass Pisces

توصف فوق طائفة الأسماك بأنها أبسط أنواع الحيوانات الفقارية، وتضم حيوانات مائية حرة الحركة ومن ذوات الدم البارد cold- blooded؛ وهذا يعنى أنها تحتفظ بدمها فى درجة حرارة الوسط المائى الموجودة فيه. ويتنفس معظم أعضائها عن طريق الخياشيم gills (باستثناء الأسماك التى تتنفس عن طريق الرئة

والموجودة فى أستراليا وأفريقيا) فهى حالات استثنائية شاذة، حيث تتنفس بواسطة رئات بدائية تطورت عن المثانة الهوائية swim bladder. وفيما يلى وصف مختصر للطوائف الأربعة المعروفة فى معظم التقسيمات الحديثة للأسماك:

- **طائفة اللافكيات Class Agnatha**

تضم هذه الطائفة الأسماك البدائية التى لافكوك لها jawless، وتمثلها تلك الأشكال التى لا تزال موجودة مثل سمك الجلكا lamprey والجريث (السمك المفترس) hagfishes. وكان أول ظهور اللافكيات ممثلا بالجلدعظيمات ostracoderms، فى الدور الأردوفيشى وانقرضت بنهاية الدور الديفونى، وكانت هذه الأسماك التى يعتقد أنها تمثل بداية ظهور الفقاريات، تتميز بوجود دروع عظمية تحمى جسدها من الخارج.

- **طائفة الأسماك العظمية المدرّعة Class Placodermi**

تضم هذه الطائفة الأسماك الفكية البدائية jawed fishes ومعظم أفرادها مدرعة بدرجة عالية. وكانت هذه الأسماك تشبه القرش sharklike، وقد بلغ طول الواحدة منها ٣٠ قدما. وقد ظهرت لأول مرة فى الدور السيلورى ثم انقرضت مع نهاية الدور البرمى.

- **طائفة الأسماك الغضروفية Class Chondrichthyes**

يتميز أعضاء هذه الطائفة بهيكل غضروفى، ومن أمثلتها القروش sharks، والسمك المفلطح الطويل الذيل skates، وسمك الراى (الشّفنين البحرى) ray. وقد ظهرت أفراد هذه الطائفة فى الدور الديفونى واستمرت موجودة حتى وقتنا هذا. وتنتشر حفريات أسنان القرش fossil shark teeth (شكل ١٣٨)، فى



شكل (١٣٨)
أسنان قرش متحجرة

صخور معينة لتكاوين حقب الحياة المتوسطة والحديثة، فمثلا وجدت فى بريطانيا فى صلصال بارتون من عصر الإيوسين فى منطقة هامبشاير.

• طائفة الأسماك العظمية Class Osteichthyes

تمثل هذه الطائفة الأسماك العظمية الحقيقية وهى أكثر أنواع الأسماك تطورا و انتشارا، وتتميز فى شكلها النموذجى بفكوك متطورة وهيكل عظمى داخلى ومثانة هوائية وكذلك بقشور متراكبة تغطى سطحها الخارجى.

وتوجد بقايا الأسماك المتحجرة فى العادة على شكل أسنان وعظام وحراشيف scales أحيانا مع هيكل محفوظ. والمدى الزمنى لهذه الأسماك العظمية من الدور الديفونى حتى العصر الحديث.

وتسمى الحفريات التى تشبه الأسنان ولها لون الكهرمان باسم كونودونت conodonts (شكل ١٣٩)، ويعتقد أنها تمثل الجزء الصلب لأنماط معينة من الأسماك المنقرضة. وبالرغم من عدم تأكد علماء الحفريات من طبيعة الحيوان الذى تمثله هذه الحفريات الغريبة، فإن حجمها الصغير ومداها الاستراتجرافى المحدود يجعلاها من الحفريات الدقيقة المفيدة. وقد ظهرت فى الدور الديفونى مجموعة الكروسوبتيرجيان crossopterygians وكانت لها زعانف تشبه الفصوص، وكان من بينها الكولاكانثات coelacanths. وكان يعتقد أن هذه المجموعة قد انقرضت منذ ٧٠مليون سنة، إلا أنه فى عام ١٩٣٨ اصطيد فرد من الكولاكانثات من مضيق موزمبيق بأفريقيا الجنوبية، ومنذ ذلك التاريخ عثر على عدد قليل من العينات والتى حفظت جيدا.

شكل (١٣٩)
كونودونتس ×٣٠

• فوق طائفة ذوات الأربع Superclass Tetrapoda

تمثل هذه الطائفة أرقى أنواع الحبليات، وتتميز بأن لها رئات، ولها قلب يتكون من ثلاث أو أربع حجرات. كما أن لها أطراف مزدوجة paired appendages. وتقسم ذوات الأربع إلى أربع طوائف هي طائفة البرمائيات (الأمفيبيا) Amphibia (الضفادع frogs وضفادع الطين toads والسلمندر salamanders)، وطائفة الزواحف Reptilia (السحالي lizards والثعابين snakes والسلاحف turtles)، وطائفة الطيور Aves، وطائفة الثدييات Mammalia (الثدييات مثل الإنسان والكلاب والخفافيش bats والحيتان whales).

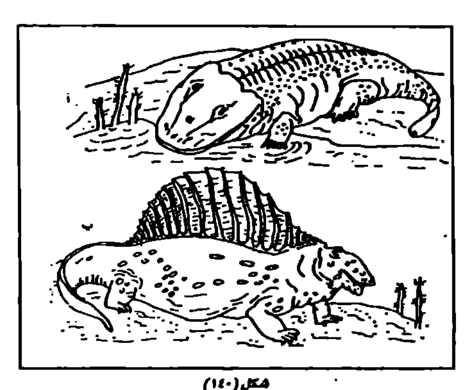
• طائفة البرمائيات Class Amphibia

من أمثلة البرمائيات المنتشرة الضفادع والسلمندر، وهي من ذوات الدم البارد وتتنفس أساسا بواسطة الرئة، وتقضي معظم حياتها على البر، لكنها تعيش في الماء خلال المراحل المبكرة لتطورها، حيث تتنفس بواسطة الخياشيم gills.

وتعد البرمائيات أول الحيوانات رباعية الأقدام التي تطورت وظهرت في الدور الديفوني المتأخر، وتنتشر حفرياتها بوفرة نسبيا في صخور أدوار الكربوني والبرمي والترياسي (شكل ١٤٠). وقد خطت البرمائيات خطوة عظيمة بغزوها البر، لكنه كان عليها أن تعود إلى الماء لتضع بيضها. وفيما بعد، عادت بعض أشكالها لتعيش في الماء بصفة دائمة. إن قدرة الحيوان على وضع بيض له قشرة، تطلّب إخصابا داخليا، وقد تحقق ذلك في أخلاف البرمائيات من الزواحف. وتوجد بعض الأشكال تجمع بين خصائص البرمائيات والزواحف معا، وهذا أمر يجعل من الصعب وضعها في أي من المجموعتين.

• طائفة الزواحف Class Reptilia

تطورت الزواحف عن البرمائيات وتأقلمت على الحياة الدائمة فوق البر. ولم تعد في حاجة إلى الاعتماد على البيئة المائية، وهي من ذوات الدم البارد، وتتميز عادة بجلد ذي حراشيف. وفي الأزمنة القديمة، كانت الزواحف منتشرة أكثر مما هي عليه في الأزمنة الحالية. وكانت لها أشكال وأحجام مختلفة عبر الماضي الجيولوجي.



شكل (١٤٠)

برمائيات

أ- إيريوبس *Eryops* (برمى). ب- ديمترودون *Dimetrodon* (برمى).

وتضم التصنيفات الحديثة للزواحف عددا كبيرا من الرتب، لكننا فى هذا الكتاب سنذكر وصف أهم هذه الرتب باختصار:

- الكوتيلوصورات Cotylosaurs

هذه زواحف بدائية، وبالرغم من احتفاظها ببعض صفات البرمائيات، إلا أنها تأقلمت على المعيشة فى البر بصفة مطلقة. وعاشت هذه الرتبة خلال الدورين الكربونى والبرمى، وانقرضت خلال الدور الترياسى.

- السلاحف Turtles and Tortoises

أجسام هذه السلاحف مغطاة بكاملها بألواح عظمية، ومداها الجيولوجى من الدور الترياسى المتأخر حتى الآن، ولو أن هناك دليلا مشكوكا فى صحته عن وجود زواحف تشبه السلاحف فى الدور البرمى، وكانت هناك سلاحف من حقب الحياة الحديثة يبلغ طول الواحدة منها ثلاثة أو أربعة أقدام. وهناك سلاحف مؤكدة من الدور (العصر) الطباشيرى يبلغ طول الواحدة منها اثنتا عشرة قدما.

- الزواحف الشراعية Pelycosaurs

هذه مجموعة من زواحف حقب الحياة القديمة المتأخر، وكان بعضها يتميز بوجود زعنفة تشبه الشراع على الظهر.

- الزواحف شبيهة الثدييات Therapsids

تضم هذه الرتبة مجموعة من الزواحف التى تشبه الثدييات والتى تأقلمت على المعيشة فى البر. وبالرغم من عدم أهمية هذه الرتبة من الناحية الحفرية، لكن دراسة بقاياها أمدتنا بمعلومات كثيرة عن أصل الثدييات. والمدى الجيولوجي لهذه الرتبة يمتد من منتصف الدور البرمى حتى منتصف الدور الجوراسى.

- الزواحف السمكية Ichthyosaurs

هذه رتبة من الزواحف البحرية كانت تسمى عظايا (سحالى) السمك وكانت لها رقبة قصيرة وكانت تشبه الأسماك فى مظهرها، وهى تناظر الدولفينات الحديثة، وقد بلغ طول بعض منها ٢٥ إلى ٣٠ قدما، لكن معدل طول الواحد منها يقل عن ذلك بكثير. وقد ظهرت الزواحف السمكية لأول مرة فى منتصف الدور الترياسى وانقرضت فى نهاية الدور الطباشيرى.

- الموزاصورات Mosasaurs

هذه مجموعة أخرى من السحالى البحرية المنقرضة وقد وصل طول الواحدة منها ٥٠ قدما، ويستدل على أنها من آكلات اللحوم من الفم الواسع المملوء بالأسنان والفكوك. وعاشت هذه الزواحف العملاقة خلال الدور الطباشيرى فقط.

- البلسيوصورات Plesiosaurs

كانت البلسيوصورات من الزواحف البحرية التى تتميز بجسم عريض يشبه جسم السلحفاة وزعانف تشبه المجاديف، ورقاب وأذناب طويلة. وبالرغم من أن هذه الزواحف لم تكن مهيأة للسباحة مثل الزواحف السمكية أو الموزاصورات، إلا أن رقابها الطويلة التى تشبه الثعبان كانت مفيدة بما فيه الكفاية لكى تقبض بها على الأسماك والحيوانات الصغيرة التى تأكلها. والمدى الزمنى الذى توجد فيه بقايا البلسيوصورات من منتصف الدور الترياسى حتى الدور الطباشيرى المتأخر.

- الزواحف التمساحية Phytosaurs

هى مجموعة من الزواحف التى تشبه التماسيح والتى كان يتردد طول الواحد منها بين ستة أقدام وعشرين قدما. وبالرغم من تقارب شكلها مع التماسيح وكذلك تشابه طريقة حياتهما، إلا أن هذا التشابه يعد سطحيا (ظاهريا) فقط، حيث إنهما من مجموعتين مختلفتين من الزواحف. وقد عاشت الزواحف التماحية خلال الدور الترياسى فقط .

- التماسيح وتماسيح أمريكا Crocodiles And Alligators

أقلمت الزواحف التى تنتشر فى الأزمنة المعاصرة نفسها بنفس الطريقة التى سبقت إليه الزواحف التماحية phytosaurs . وكانت التماسيح crocodiles وتماسيح أمريكا alligators أكبر وأضخم حجما وأكثر انتشارا خلال الدور الطباشيرى مما هى عليه فى عالم اليوم. وقد ظهرت التماسيح لأول مرة. فى الدور الطباشيرى، وظهر تماح أمريكا alligator فى الدور الثالث Tertiary Period.

- الزواحف الطائرة Pterosaurs

كانت هذه زواحف من حقب الحياة المتوسطة وكانت لها أجنحة طويلة تشبه أجنحة الخفافيش، وكانت تدعم هذه الأجنحة أذرع وأصابع طويلة رقيقة (شكل ١٤١) وهذه الزواحف الطائرة كانت مهيأة للعيش فى الهواء (طائرة)·وقد مكنتها خفة أجسامها وأجنحتها العريضة المغطاة بالجلد من القدرة على الطيران، وساعدتها



شكل (١٤١)
Rhamphorynchus بتيروسور، زاحف طائر
(جوراسى)

في الحركة والانزلاق glide في الهواء لمسافات كبيرة . وكان أول زاحف طائر قد جمع من صخور الجوراسي الأسفل، وانقرضت هذه المجموعة بنهاية الدور الطباشيري. وفي خلال الدور الطباشيري بلغ طول انتشار أجنحة أنواع هذه الحيوانات إلى ٢٧ قدما، لكن أجسامها كانت ضئيلة (صغيرة) وخفيفة.

• الدينوصورات Dinosaurs

يطلق اسم الدينوصورات (وهو مصطلح جامع collective term ويعني السحالي المرعبة terrible lizards على مجموعة من الزواحف التي سادت الحياة في حقب الحياة المتوسطة لفترة ١٦٥مليون سنة تقريبا. وكانت هذه المخلوقات الغريبة ذات أحجام متباينة، ترددت أطوالها بين أقدام قليلة إلى ٨٥ قدم، وكانت أوزانها تتردد أيضا بين أرطال قليلة إلى أطنان عديدة وربما بلغت الواحدة منها ٤٥ طنا في الوزن. وكانت بعض الدينوصورات من أكلة اللحوم carnivorous، لكن معظمها كان من آكلة النباتات herbivorous. وكانت بعض أشكالها من ذوات القدمين bipedal (تمشي على أطرافها الخلفية) بينما كان البعض الآخر من ذوات الأربع Quadrupedal (يمشي على أربعة أرجل). وبالرغم من أن معظم الدينوصورات كانت تعيش على البر، إلا أن بعض أنواعها كانت تعيش في الماء أو في بيئة شبه مائية semiaquatic.

وقد صنفت الدينوصورات في رتبتين على أساس بنية عظام الفخذ، وهما: رتبة زوريشيا Saurischia (ويكون فيها الزِّنار الحوضي pelvic girdle مشابها لمثيله في السحالي ورتبة أورنيثيشيا Ornithischia التي يكون فيها الزنّار الحوضي مشابها لما في الطيور.

- الدينوصورات الزوروشية Saurischian Dinosaurs

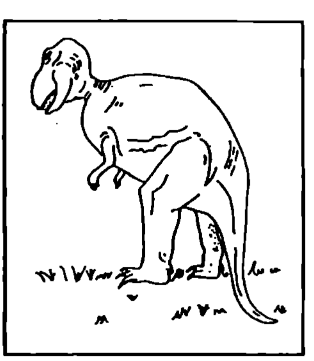
كانت هذه الدينوصورات واسعة الانتشار بصفة خاصة في الدور الجوراسي، وكانت تتميز بأن عظام الفخذ hip-bones فيها تشبه تلك التي للسحالي الحديثة. وقد اكتشفت هذه الدينوصورات لأول مرة في صخور الدور الترياسي، ولم تنقرض حتى نهاية الدور الطباشيري. وتقسم رتبة الدينوصورات الزوروشية (عظام

الورك فيها تشبه تلك التى فى الحالى) إلى رتيبتين متخصصتين specialized suborders هما:

أ- رتيبة ثيروبودا Suborder Theropoda وهى دينوصورات ذات قدمين من آكلات اللحوم وذات أحجام متباينة.

ب- رتيبة سوروبودا Suborder Sauropoda، ويمتاز أفرادها بوجود أربعة أقدام وأنها من آكلات العشب، وتعد حيوانات شبه مائية وقد من الدينوصورات العملاقة.

- الثيروبودات Theropods

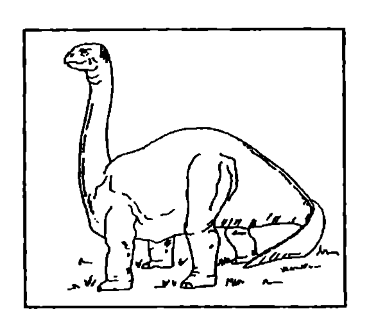


شكل (١٤٢)
تيرانوصوروكس *Tyrannosaurus rex*
من آكلات اللحوم فى الطباشيرى

هذه الدينوصورات كانت تمشى على أطرافها الخلفية مثل الطيور، وكانت من آكلات اللحوم، وكان بعضها ذا حجم ضخم جدا، وكانت بدون شك حيوانات شرسة مفترسة، وقد استدل على ذلك من بعض الخصائص مثل الأطراف الأمامية الصغيرة ذات المخالب الحادة لإمساك وتمزيق اللحوم وكذلك من الفكوك الكبيرة القوية التى كانت مسلحة بأسنان حادة عديدة، وكان أضخم أنواع الثيروبودا هو *Tyrannosaurus rex* الذى كانت تصل قامته إلى ارتفاع عشرين قدما حين يكون الحيوان واقفا على طرفيه الخلفيين. (شكل ١٤٢)، وقد بلغ طول بعض الأنواع من هذه الدينوصورات ٥٠ قدما. ويعتقد أن هذا الشكل من الدينوصورات كان من أكثر الحيوانات التى عاشت على الأرض وحشية وافتراسا.

- السوروبودات Sauropods

تضم السوربودات أضخم الدينوصورات، بعض منها مثل برونتوصور *Brontosaurus* (شكل ١٤٣) الذى كان يصل طوله إلى٨٥ قدما، ومن المحتمل أنه كان يزن ٤٠ إلى ٥٠ طنا. وكانت هذه الدينوصورات من آكلات العشب، وقد تأقلمت للمعيشة فى البيئات المائية aquatic وشبه المائية semi-aquatic ومن المحتمل أنها عاشت فى البحيرات والأنهار والمستنقعات.



شكل (١٤٣)
Brontosaurus
دينوصور من حقب الحياة المتوسطة

- الدينوصورات المنقارية Ornithischian Dinosaurs

تسمى هذه الدينوصورات وهى من آكلات العشب باسم الدينوصورات ذات ورك الطير bird-hipped. وكانت متباينة فى أشكالها وحجومها، ويبدو أنها كانت أكثر تطورا من الدينوصورات الزوروشية saurischian dinosaurs وتضم هذه المجموعة الدينوصورات التى لها منقار مثل البط duck - billed (رتيبة المنقاريات suborder Ornithopoda) والدينوصورات حاملة الألواح plate bearing (رتيبة ستيجوسوريا suborder Stegosauria، والدينوصورات المدرعة

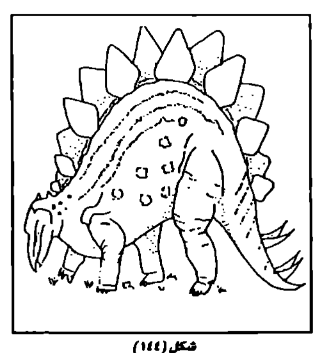
armoured dinosaurs (رتيبة أنكيلوصوريا Suborder Ankylosauria) وكذلك الدينوصورات المقرنة horned dinosaurs (نيبة سيراتوبسيا suborder Ceratopsia).

- الدينوصورات المنقارية Ornithopods

كانت هذه الدينوصورات غير عادية، وكانت من ذوات القدمين وتعيش في بيئة شبه مائية semiaquatic، وكانت من نمط خاص؛ مثل *Trachodon* (دينوصور له منقار مثل منقار البط).

- ستيجوصورز Stegosaurs

كانت هذه الدينوصورات من آكلات العشب وذات أربعة أقدام. وكانت تبرز من ظهر الحيوان ألواح ضخمة على امتداد الظهر ونتوءات شوكية ثقيلة على الذيل. ويعد ستيجوسور من الأشكال الدينوصورية حاملة الألواح، وكانت تميز الدور الجوراسي (شكل ١٤٤). وكان هذا الحيوان الضخم يزن عشرة أطنان وطوله حوالى ٣٠ قدما، وكان ارتفاعه حوالى عشرة أقدام إذا كان واقفا.



شكل (١٤٤)
ستيجوصور *Stegosaurus* دينوصور مدرع الظهر

وكانت هذه الدينوصورات تتميز بصفين من الألواح الضخمة الثقيلة التى تبرز من ظهورها، وكانت هذه الألواح تبدأ من خلف جمجمة الحيوان وتنتهى قرب نهاية الذيل. وكان الذيل مجهزا بأربع أو أكثر من الأشواك المنحنية ربما كانت تستخدم فى أغراض الدفاع. وكان للحيوان جمجمة صغيرة يوجد فى داخلها مخ

الحيوان الذى كان فى حجم حبة عين الجمل ويعتقد أن هذا الدينوصور وكذلك كل الدينوصورات الأخرى كانت محدودة الذكاء للغاية.

- أنكيلوصور Ankylosaurs

كانت هذه الدينوصورات من زواحف الدور الطباشيرى وذات أربع أقدام ومن آكلات النباتات، وكانت تتميز بأن أجسامها مسطحة نسبيا، وكانت جمجمة الحيوان وظهره مدرّعان بعظام لحمايته. وكان ذيله على هيئة صولجان club، ومسلحا بزوائد شوكية. وكانت لهذا الأنكيلوصور أشواك تخرج من جوانب الجسم والذيل. وقد ساعدت الأشواك اللوحية التى تدرع الظهر وكذلك الذيل الثقيل الذى يشبه الصولجان على حماية الحيوان كثيرا من الدينوصورات المفترسة آكلة اللحوم .

- الدينوصورات المقرنة Ceratopsians

هذه الدينوصورات تكوّن مجموعة أخرى من الدينوصورات التى عاشت فى الدور الطباشيرى فقط. وكانت لهذه الحيوانات آكلة الأعشاب فكوك تشبه مناقير الطيور الجارحة، ورقبة عظمية طويلة تمتد إلى الخلف من الجمجمة وكذلك كان لها قرن أو أكثر.

وكان جنس *Triceratops* هو أضخم الدينوصورات المقرنة. وقد بلغ طول بعضها ٣٠ قدما، وقد بلغ طول الجمجمة ثمانية أقدام مقيسة من قمة المنقار الذى يشبه منقار الببغاء حتى مؤخرة درع العنق.

• طائفة الطيور Class Aves

نظرا لطبيعة أجسام الطيور الرقيقة، فإنه من النادر العثور على بقاياها كحفريات. ومع ذلك فقد عثر على حفريات مهمة لبعض الطيور. وكان أقدم هذه الحفريات هى تلك التى وجدت فى صخور الجوراسى المتأخر فى ألمانيا، وقد سميت أركيوبتيركس *Archaeopteryx*. وكان هذا الطائر البدائى أقرب أن يكون زاحفا ذا ريش من أن يكون طائرا، وكان فى حجم الحمامة، وكان له ذيل يشبه السحلية ومنقار ذو أسنان. كذلك كانت له صفات مؤكدة معينه تخص الزواحف.

وقد طرأت تغيرات عديدة على الطيور خلال الدور الطباشيرى، ومعظم الطيور التى تعيش اليوم كانت قد ظهرت بنهاية الدور الثالث Tertiary.

• طائفة الثدييات Class Mammalia

تعد الثدييات أكثر الفقاريات تطورا، فهى تولد حية وتتغذى على اللبن من ثدى أمها. وهى مخلوقات تتنفس الهواء، ومن ذوات الدم الحار warm-blooded، وتتميز بوجود شعر لحمايتها (هذه الصفات هى أهم ما يميز الثدييات، لكن هناك استثناءات فى ثدييات معينة).

والثدييات التى ظهرت لأول مرة فى الدور الجوراسى يحتمل أنها نشأت (تطورت) عن شكل من أشكال الزواحف الشبيهة بالثدييات، وكانت الثدييات نادرة خلال حقب الحياة المتوسطة، لكنها تطورت سريعا وزادت أعدادها بوفرة خلال حقب الحياة الحديثة (الكاينوزوى)، حينما صارت بعض أشكال الثدييات كبيرة للغاية واتخذت أشكالا غريبة. وتعرضت معظم هذه الأشكال إلى الانقراض المبكر، لكن حفرياتها التى بقيت معروفة تدل عليها. ويوجد شكلان من الأشكال البدائية للثدييات لا يزالان يعيشان حتى الآن، وهما: الثدييات أحادية المسلك Monotremes (مرتبة دنيا من الثدييات أجهزتها التناسلية والبولية والهضمية لها مخرج واحد). والثدييات الجرابية (ذات الجراب) Marsupials.

ومن المحتمل أن تكون الثدييات وحيدة المسلك قد نشأت فى الدور الجوراسى وكان لها الكثير من صفات الزواحف؛ فكانت مثلا هى الثدييات الوحيدة التى تضع بيضا وكانت تغذى صغارها باللبن الذى كانت تفرزه غدد عَرَقيَّة متحورة sweat glands، وهى التى أصبحت فيما بعد ثدى الإناث فى الثدييات. وحاليا يقتصر وجود الثدييات وحيدة المسلك فى أستراليا حيث يمثلها حيوان البلاتيبوس platypus (وهو حيوان مائى ثديى بيوض ومنقاره كمنقار البط)، وكذلك حيوان شوكى من أكلة النمل spiny anteater .

أما الثدييات الجرابية Marsupials فقد ظهرت لأول مرة فى الدور الطباشيرى، حيث كانت تشبه حيوان الأبوسّوم opossum (حيوان يوجد فى أميركا وهو من ذوات الجراب يتظاهر بالموت عندما يحدق به الخطر). وأهم صفات

هذه الحيوانات أنهـا تضع صغارا حية ناقصـة النمو تكمل مرحلة طفولتها ملتصقة بحلمات اللبن milk teats التى توجد فى جراب الأم. وتوجـد النمور المسيفة الأسنان بأنواعـهـا فى الكاينوزوى، لكن أعـدادها تناقـصت تدريجـيـا وقل تنوع أشكالها. وفيمـا عدا أستراليا، فإن الحيوان الجرابى الوحـيد الذى يعيش حتى الآن هو الأبـوّم الأمريكى . وفى أستراليا يعد حيوان الكنغر kangaro هو أشهر حيوان جرابى. وتوجد أشكال أخرى من هذا الثديى الجرابى مثل دب الكوالا koala bear وحيـوان الولابى wallaby(الكنغـر الصغيـر) الذى يوجد فى غـابات أستـراليا، وكذلك حيـوان الوُمْبَتّ wombat (حيوان أسـترالى من ذوات الجراب شـبـيه بدب صغـير). وهناك حيـوانات أقل شهرة مـثل البنديكوت bandicoot (الفأر الهندى الضخم)، والذئب التـسـمانى Tasmanian wolf وهو حيوان من آكلات اللحوم. ومعظم الثدييـات تتبع طويئفة المشيـميات subclass theria التى تضم الحيوانات ذات المشيمـة placental animals (التى تلد صغـارها فى حالة متـقدمة نـسـبـيا من التطور).

•طويئفة المشيميات Subclass Theria

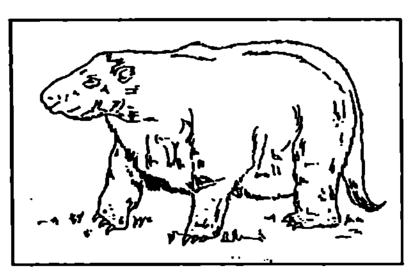
عرفت المشـيـميات لأول مرة فى الدور الجـوراسى، وتضم أكبر مجـمـوعات الثدييات التى تعيش الآن. والمشـيمـيات يحدث لها تحور كبـير قبل ولادتها؛ وعند ولادتها تكون مـشـابهة لآبائها وقد قـسـمت هذه الطويئفـة إلى عدة رتب، وسوف نذكـر هنا أكثر الرتـب أهمية:

-رتبة عديمة الأسنان Order Edentata

هى مجمـوعـة من الثدييـات البدائية وتمثلها بـعض الأنواع التى تعيش حتى الآن مثل المدرّع armadillos (حيـوان ثديى، لرأسـه وجـسـمـه درع من الصفـائح العظمـية الصـغيرة يستـطيع أن يـنكمـش فيه على صـورة كرة إذا مـا هـوجـم أو خشـى الأذى)، وكذلك حـيـوان الكـسلان tree sloths، وحـيـوان آكل النمل ant - eater.

وكانت أعـضاء هذه الرتبة منتـشرة فى أمريكـا الشـماليـة والجنوبية فى أزمنة البليـتوسـين والبليوسـين Pleistocene and Pliocene. وتوجد حفريات حيوانات

رتبة عديمة الأسنان فى صخور معينة تتبع الكاينوزوى. ومن هذه الأشكال *Mylodon* (شكل ١٤٥). وهو أحد الحيوانات الأرضية الكسولة العملاقة المنقرضة، وكانت هذه الحيوانات ثقيلة الوزن للغاية وكان يصل ارتفاع بعضها إلى خمسة عشر قدما إذا كان واقفا. وهذه كانت أسلاف حيوانات الكسلان الشجرى الموجودة حاليا فى أميركا الجنوبية.



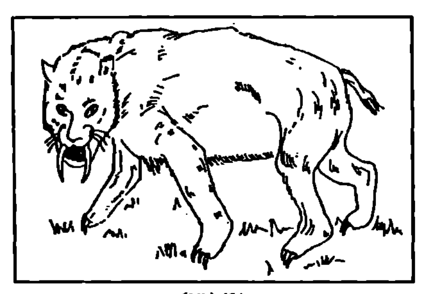
شكل (١٤٥)

ميلودون Mylodon من الدبب العملاقة

هناك مجموعة أخرى من اللاسنّيات العجيبة **edentates** وتسمى الجليتودونتا **Glyptodonts**، وهى أسلاف حيوان المدرع **armadillos** الذى يعيش الآن والذى عاش لنفس الفترة الزمنية مثل حيوان الكسلان الأرضى **ground sloths** ومن الأمثلة النموذجية لهذه المجموعة التى تميز دور البليستوسين **Pleistocene** حيوان جليتودون ***Glyptodon***، وكان يشبه حيوان المدرع وكانت له درقة تشبه درقة السلحفاة. وكان ارتفاع بعض الدرقات يصل إلى أربعة أقدام. وقد وصل طول بعض أفراد هذه المجموعة إلى خمسة عشر قدما (مقيسا من الرأس المغطاة بالعظام حتى نهاية الذيل)، وكانت توجد حلقات عظمية فوق الذيل الثقيل السميك، وفى بعض الأنواع، كانت نهاية الذيل متحورة إلى صولجان عَظْمى كثير النتوءات الشوكية.

- رتبة آكلات اللحوم Order Carnivora

آكلات اللحوم هى ثدييات تتميز بأقدام ذات مخالب مهيأة لتمزيق وتقطيع اللحوم، وكانت أولى آكلات اللحوم مجموعة قديمة من الحيوانات أطلق عليها اسم، كريودونتا creodonts، وهى مجموعة عاشت لحقبة قصيرة، وكان أول ظهورها فى حقب الباليوسين، وانقرضت بنهاية دور الإيوسين. وبلغت أفراد هذه المجموعة حجوما مختلفة، ترددت بين حجم ابن عِرْس weasel وحجم الدّب الضخم، وكانت لها مخالب حادة متطورة للغاية. جاءت بعد آكلات اللحوم المبكرة، مجموعة أخرى من آكلات اللحوم المتخصصة التى تطورت خلال الزمن الكاينوزوى Cainozoic، وبعض أمثلتها النمر المسيف الأسنان *Smilodon* (شكل ١٤٦) وكذلك الذئب الرهيب *Canis dirus*.



شكل (١٤٦)
سميلودون **Smilodon**
نمر مسيف الأسنان

- رتبة كاملة الأسنان Order Pantodonta

تعرف هذه الثديات بأنها كانت بطائية ومن آكلات النباتات وكانت لها أظلاف، وتميزت بهيكل ثقيل وبأطراف قصيرة قوية وأقدام مفرشحة ثقيلة الحركة وقد ظهرت هذه الرتبة لأول مرة خلال الباليوسين وانقرضت بنهاية دور الأوليجوسين.

- رتبة دينوسيراتا Order Dinocerata

تضم هذه الرتبة مجموعة من الثدييات العملاقة المنقرضة، وتسمى بصفة عامة الوتاثيرات Uintatheras . ويوجد مثال جيد يمثل هذه المجموعة هو ونتاثيريوم *Uintatherium*، وكانت له ثلاثة أزواج من القرون غير الحادة، وللذكور فقط أنياب علوية تشبه الخناجر. وكانت بعض أفراد هذه المجموعة كبيرة فى حجم الفيل الصغير، وكان ارتفاعها وهى واقفة يصل إلى سبعة أقدام عند كتفيها. ويدل حجم مخ الحيوان بالنسبة إلى حجم جسمه، على أن هذه الحيوانات لم تكن على درجة من الذكاء تقارب ذكاء معظم الثدييات. وقد عرفت هذه الرتبة من الثدييات فى صخور يمتد عمرها من الباليوسين إلى دور الإيوسين.

- رتبة الخرطوميات Order Proboscidea

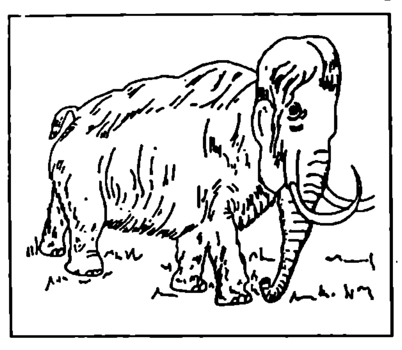
جُمعت بقايا الخرطوميات الأولى؛ الفيل وأقاربه، من صخور الإيوسين العلوى فى أفريقيا. وكانت الأشكال الأولى لهذه الحيوانات فى حجم فيل صغير من أفيال العصر الحديث، لكن الرأس كان أكبر والخرطوم كان أقصر.

ويتميز تطور الخرطوميات بالزيادة فى حجمها، والتغير فى بنية الجمجمة والأسنان، واستطالة الخرطوم. وهناك مثالان جيدان من الخرطوميات هما الماموث Mammoth والماستودون Mastodon، وكلاهما عاش فى أوروبا (بما فى ذلك بريطانيا)، وأمريكا الشمالية وسيبريا وجنوب أفريقيا وذلك فى أزمنة البليستوسين.

ويشبه الماستودون الفيل، لكنهما يختلفان فى بنية الأسنان. وبالإضافة إلى ذلك، فإن جمجمة الماستودون كانت أكثر انخفاضا من جمجمة الفيل وكانت أنيابه أكبر. وقد بلغ طول الماستودون تسعة أقدام.

وكانت هناك أنواع عديدة من الماموثات Mammoths، ولعل أشهرها هو الماموث الصوفى (كثير الوبر) Woolly Mammoth، وقد عاش هذا الحيوان حتى نهاية دور البليستوسين، وقد عرف هذا الماموث (مثل حيوان وحيد القرن rhinoceros) من الرسومات التى وجدت على جدران الكهوف القديمة ومن البقايا المتجمدة فى الجليد. وتدل المعلومات التى توافرت من هذه المصادر أن هذا الحيوان

الحيـوان الكبير كـان جـلده مـغطى بشعر أسـود طويل يوجد بأسـفله وبر صـوفى (شكل ١٤٧). ويوجد حـاليا نوعان فـقط من الخرطومـيات هما الفـيل الأفريقى والفيل الهندى.



شكل (١٤٧)
ماموث كثير الوبر كامل، من ثدييات البليستوسين

- رتبة فردية الحوافر Order Perissodactyla

فرديات الحوافر حيوانات ثدية تـتضـخم فيها الإصبع الوسطى فى كل طرف بشكل كبير، ومن الأمثلة الحالية لهذه الرتبة الحصان والخرتيت rhinoceros والتابير tapir (حيوان أمـيركى استوائى شبـيه بالخنزير). وهـناك حيوانات تتـبـع هذه الرتبة لكنها انقرضت ومنها: التيتانوثير *titanotheres*، والكاليكوثير *chalicotheres*، والبالوكيثير *baluchitheres*، وقد تضخمت أجـسامـها بشكل هائل وأصبحت لها هيئات غير عادية.

• الخيول Horses

كـان سلف الحصان الحالى أحد أفراد الثـدييات فردية الحوافر، وأطلق عليه اسم *Hyracotherium*، ويسـمى أيضا *Eohippus*. وكان هذا الحيوان صغير الحجم

يبلغ ارتفاعه قدمـا واحدا، وتدل أسنانه على أنه كان يتغذى طعاما خـفيفا. وتدل السـلسلة الطويلة من حـفريات الخـيول والمعلومـات القيـمة التى توافـرت من هذه الحفريات على تاريخ هذه المجموعة المهمة من الحيوانات التى تلت أول حصان ظهر فى التاريخ الجيولوجى.

• التيتانوثيرات Titanotheres

ظهرت هذه المجمـوعة من الحيوانات لأول مـرة فى دور الإيوسين، وكانت فى ذلك الوقت فى حجم الخـراف، لكنها تضخمت لتـصبح عملاقـة فى متصف دور الأوليـجوسـين، أمـا مـخهـا فكان لا يزال بدائيـا. ويتـشابه برونـتوثيـريوم *Brontotherium* مع الخرتيت rhinoceras تشابهـا بسيطا، لكن طوله كـان حوالى ثمانية أقدام عند الأكتاف. وقد برز نمو عظمى كبـير من الجمجمة وامتد على هيئة قرن مبطط متقسم عند القمة.

وبالرغم من أن التـيتـانوثيرات طرأت عليـها تطورات سـريعة خـلال الدور الثالث المبكر، إلا أنها انقرضت خلال متصف دور الأوليجوسـين.

• الكاليكوثيرات Chalicotheres

كانت الكاليكوثيـرات تتشابه بطريقة ما مع التـيتانوثيرات، لكنهـا كانت لها صفـاتها الخـاصة بهـا، فكان الرأس والرقبـة فى جنس *Moropus* وهو من أفراد الكاليكوثيرات النمـوذجية، يتـشابه كثيـرا مع رأس ورقبة الحـصان، لكن الأرجل الأمامية كانت أطول من الأرجل الخلفية. وكانت الأقـدام تشبه أقدام الخرتيت فيما عـدا أنـه كانت بهـا مخالب طويلة بدلا من الحـوافر. وقد ظهـرت الكاليكوثيرات لأول مرة فى دور الميوسين واستمرت حتى دور البليـتوسـين، وأغلب الظن أنها لم تكن أبدا وفيرة العدد.

• الخراتيت Rhinoceroses

الخرتيـت هو أيضـا من الحيوانات الفـردية الحوافر، وتوجـد حفريات كثـيرة مهمة ومعروفة لهذه المجموعة. والخرتيت الصوفى woolly rhinocerose كان من حيوانات البليـتوسـين وكان له قرنان two-homes وكان موجودا فى جنوب فرنـا

حتى شمال شرق سيبيريا. وهو معروف جيدا من جثته التى اكتشفت فى التندرا المتجمدة فى سيبيريا، وكذلك من البقايا التى وجدت محفوظة فى نز بترولى فى بولندا. هذه العينات، بالإضافة إلى الرسوم التى وجدت فى الكهوف والتى رسمها الإنسان الأول، أعطت صورة كاملة وسجلا دقيقا لهذا المخلوق. وقد وجدت حفريات الخراتيت فى صخور عمرها الجيولوجى بين الأوليجوسين الأوسط والبليوسين المتأخر.

• بالوكيثيريوم Baluchitherium

هذا هو أضخم حيوان برى من الثدييات، وكان خرتيتا هائل الحجم لا قرون له، عاش فى الأوليجوسين المتأخر وفى بداية الميوسين. وقد بلغ طول هذا المخلوق الجبار ٢٥ قدما من الرأس إلى الذيل. وبلغ ارتفاعه حتى الكتفين وهو واقف ثمانية عشر قدما، ويبدو أن وزنه كان عدة أطنان، وأن موطنه كان محددا فى وسط آسيا.

• رتبة مزدوجة الحوافر Order Artiodactyla

تشمل هذه الرتبة الحيوانات الثديية ذات الحوافر المزدوجة العدد وتضم أشكالا مألوفة مثل الخنازير والجمال والغزلان، والماعز والغنم، وفرس النهر hippopotamus، وهى مجموعة كبيرة ومتنوعة من الحيوانات، لكن بنياتها التشريحية الأساسية للأسنان والأطراف توضح أن هناك روابط بين الأشكال بعضها ببعض. وأفراد رتبة مزدوجة الحوافر يشيع وجودها كحفريات فى صخور يتردد عمرها من الإيوسين حتى البليستوسين.

• الإنتيلودونت Entelodonts

عاشت هذه الثدييات المزدوجة الحافر العملاقة التى تشبه الخنازير خلال دور الأوليجوسين ودور الميوسين المبكر، وكانت تتميز بجمجمة طويلة ثقيلة وتحمل فى داخلها مخا صغيرا نسبيا. وكان الوجه يتسم بوجود نُدُب كبيرة large knobs تحت العين وعلى الجهة السفلى للفك السفلى. وتبدو النُدُب كأنها قرون قصيرة، وقد وصل ارتفاع هذه الخنازير العملاقة إلى ستة أقدام حتى الكتف وبلغ طول الجمجمة ثلاثة أقدام.

جمعت أقدم حـفريات للجمال من صخور تابعة للإيوســين المتأخر، وكانت لأشكال صغيرة. وحينما تطور الجـمل طرأت بعض التغيرات وبخاصة فى الأسنان والأطراف وكذلك فى الحجم .

كثـير من الجمال التى عـاشت خلال منتصف الكاينوزوى كـانت لها أرجل طويلة مهيأة للجرى ورقاب طويلة ساعدتها فى رعى أوراق الأشجار العالية.

لم نأخذ فى اعتبارنا ثدييات أخرى مثل الفئران والجرذان التى انتشرت انتشارا واسعا منذ بداية الدور الثالث، أو تلك الثدييات الأخـرى مثل الحيتـان والدولفين التى عادت إلى الحياة البحرية، والسبب أنها غيـر مهمة من الناحية الحفرية. كذلك لم نشرح الرئيـــيات؛ وهى الرتبـة التى تضـم القردة apes والإنسـان man وسـوف نتناول ذلك بشكل مـفـصـل فى الفـصـل التاســع عشـر (التاريـخ الجيـولوجى للإنسـان).

الفصل السابع عشر

التطور: الحياة المتغيرة

EVOLUTION : CHANGING LIFE

تعرض سكان الأرض وكل ما بها من الأحياء لتغيرات مستمرة ومتدرجة منذ الأزمنة الجيولوجية الماضية، وسجل هذا التغير موثق جيدا ويمكن تفسيره عن طريق نظرية التطور العضوى organic evolution .

وهذه النظرية التى تعد من أهم النظريات بالنسبة للبيولوجيين والجيولوجيين، تعرف التطور العضوى بأنه عملية تراكمية للتغيرات، وتتميز بالتحور التقدمى للنباتات والحيوانات وتطورها من أسلاف أكثر بدائية. وعلى ذلك فإن دراسة التطور توضح أن النباتات والحيوانات الموجودة حاليا، قد وصلت إلى ما هى عليه من تطور نتيجة لتغييرات تدريجية منتظمة، حدثت فى الأزمنة الجيولوجية الماضية. وفى هذا السياق، سنعرض لموضوع التطور لما له من أهمية بالنسبة للمؤرخ الجيولوجى historical geologist (لمزيد من المعلومات انظر كتاب البيولوجيا وتبسيطها Biology Made Simple تأليف Ethel . M . Hanauer).

١- نظريات التطور Theories of Evolution

لا تعد فكرة التطور العضوى فكرة جديدة، ذلك لأن كثيرا من الفلاسفة الإغريق القدامى حتى عام ٥٠٠ ق م كونوا مفهوما بدائيا عن فكرة التطور. لكن أول نظرية علمية تختص بهذا الموضوع وضعت فى القرن التاسع عشر.

وبالرغم من أن كثيرا من العلماء قاموا بدراسة التغيرات التطويرية التى طرأت على النباتات والحيوانات، إلا أن قليلين منهم هم الذين استطاعوا تفسير حدوث هذه التغيرات، ولكن إلى درجة قليلة نسبيا. ومن بين هؤلاء العلماء يبرز

جين لامـارك Jean Lamarck وتشـارلز داروين Charles Darwin وهوجـو دى فريـه Hugo de Vries.

• نظرية وراثة الصفات المكتسبة

Theory of Inheritance of Acquired Characteristics

افترض هذه النظرية العـالم جان بابتسيت لامارك Jean Baptiste Lamarck عام ١٨٠٩. وتفتـرض هذه النظرية أن العضـو الذى يُسـتخدَم بصفة دائـمة، ينمو ويتطور إلى حد كبير، والعـضـو الذى لا يـستخدم يصبح ضعيفـا ويتضاءل تدريجيا حتى يخـتفى تمامـا. وكان من رأى لامـارك أن هذه الصفـات المكتسبـة يمكن أن تتوارث من الآباء إلى الأبناء. لـذلك فقد تظهر أنـواع جديدة متغـيرة بعد بضـعة أجيال. وعلى سـبـيل المثال، كان لامارك يعتقد أن ابـن الحداد يولد وعضلة ذراعه أقوى وأكبر حجما من هذه العضلة نفسـها لطفل يولد من أب يعمل بائعا فى محل ما. ويفـسـر ذلك بأن السـبب فى هذا الاختلاف يرجع إلى أن ابن الحداد يتمتع بلياقة بدنيـة أفضل مـوروثة عن والده. وتعـرف هذه النظرية أيضـا بنظرية الاسـتـعمـال والإهمال use and disuse، وهى نظرية لا تحظى بالتأييـد الكافى من العلماء فى وقتنا الحالى.

• نظرية الانتخاب الطبيعى Theory of Natural Seletion

اقتـرح هذه النظرية تشـارلز داروين عام ١٨٥٩، ويعـد داروين من أشـهر علماء البيولوجـيا، وحاول أن يفسـر أسبـاب التطور واقتـرض نظرية تتطلب الكثير من البحث والـتجربة لإثبـات صحتـها، وعـرض داروين نظريته فى كـتابه «أصل الأنواع Origin of the Species وقد اعـتمد داروين فى نظريته على أربعـة عوامل هى:

أ- الصراع من أجل البقاء Struggle for Existence

تنتج كل الكائـنات الحيـة سـلالات، لا يتـوقع لهـا أن تبلغ كلهـا مـرحلة النضـوج، ويـؤدى الإنتاج الزائد عن المطلوب إلى تنافس على الـغذاء والماء والمأوى واحتياجات أخـرى كثيرة. والكائنات الحية عليها إمـا التغلب على هذه الصعوبات وإما أن تموت.

ب- التنــوع Variation

لا يوجد بين الذّرية اثنان متـشابهان تماما، بل يوجـد تنوع بين أفراد الأسـرة الواحدة.

جـ- الانتخاب الطبيعى Natural Selection

الأفـراد الذين لديهم القـدرة على البـقـاء والإنجاب هـم الذين يصلون إلى مرحلة النضـوج، وهـذا معنـاه أن «البقاء للأصلح survival of the fittest».

د- الانتخاب الجنسى Sexual Selection

بعض الأفراد يتمتـعون بمميزات تعطيهم الأفضلية على غـيرهم فى الحصول على ألِيف. وقد ترث ذُرِّيتهم هذه المميـزات المواتية. أما الأفراد الذين لا يتـمتعون بهذه المميـزات الجذابة. فلا يـستطيعـون الحصول على أليف، وبالتالى فـلا ينجبون ذُرّية. وبالرغم مـن أن مـعظم العلمــاء المحـدثين تقـبلـوا نظرية داروين، إلا أن الاعتـراضات الكثـيرة قـد أبديت على بعض آرائه، مما أدى إلى تعـديل فى بعض جوانب نظريته على ضوء المعلومات العلمية الحديثة.

• نظرية الطفرة The Mutation Theory

تقدم بهذه النظرية العالم الهولندى هو جودى فريـه Hugo de Vries فى عام ١٩٠١، وقد وضع نظريته على أساس الدراسات الوراثية genetic الرائدة التى قام بها الراهب الأوجسـتينى جريجور جوهان مندل Gregor Johann Mendel، الذى نشـر نظريتـه فى عـام ١٨٦٦. ويعـد مندل أول من أرسى قـواعـد علم الوراثة. وتعتمـد نظرية الطفرة mutation على أن أنواعا جـديدة تظهر فى الطبيـعة نتيـجة لطفرة (تغيرات فـجائية فى المادة البلازمية للكائنات الحيـة). تـساعد على بقاء هذه المخلوقات. وقد يرث الأبنـاء الطفرات فتنتقل من جيل إلـى جيل حتى تؤدى إلى ظهور أنواع جـديدة. ونظرية الطفرة لا تتـعارض مع نظرية داروين، بل إنهـا تعد مكملة لها، حيث إن نظريتـه كانت توحى بأن أنواعا جديدة تظهر فـجأة، وليسـت نتيجة لتغيـرات ضئيلة تحدث على مدى أزمنة طويلة.

٢-أدلة التطور Evidences of Evolution

بالرغم من أن الأدلة التى أثبتت وجود التطور تعد أدلة غير مباشرة، إلا أنها تستمد من مصادر كثيرة ولا جدال فيها. ولهذا السبب فإن البيولوجيين والجيولوچيين يعتقدون أن التطور حقيقة واقعة، وليس شيئا نظريا.

وفيما يلى نوجز باختصار أدلة تبرهن أن التطور يمثل حقيقة واقعة:

• أدلة من علم التشريح المقارن Evidences from Comparative Anatomy

هناك نباتات وحيوانات كثيرة، تبدو كأنها غير متشابهة ولا يماثل بعضها البعض، وكأنه لا توجد أية علاقة بينها، لكننا إذا درسناها جيدا، فسوف نجد أنها تتشابه فى البنية التشريحية. فعلى سبيل المثال، توجد تشابهات بنيوية أساسية basic structural similarities بين ذراع الإنسان وجناح الخفاش وزعنفة الحوت وجناح الطائر. فكل هذه الأعضاء بينها شَبَه بِنيوى أساسى، وكلها أعضاء للحركة. وهذه الأعضاء التى تتشابه فى البنية الأساسية يطلق عليها اسم البنيات المتشابهة homologous structures. وهنا يوحى بأن الأنواع المتباينة صاحبة هذه الأعضاء تنحدر من أصل واحد، ثم تفرعت منه وتحوَّل كل نوع فى اتجاه يختلف عن الآخر. وكثير من الحيوانات كانت لها أعضاء ذات وظائف محددة، ومعروف أن هذه الأعضاء كانت مفيدة فى زمن ما، لكنها أصبحت الآن عديمة الفائدة. مثل هذه الأعضاء تسمى بنيات آثارية vestigal structures، وهذه أدلة إضافية تعضد نظرية التطور العضوى، فالمصران الأعور مثلا (الزائدة الدودية) veriform appendix فى الإنسان، يعد عضوا لا فائدة منه، بل إنه قد يسبب متاعب للإنسان، لكنه فى بعض الحيوانات مثل الأرانب والكلاب مازالت له وظيفة مهمة فى الجهاز الهضمى.

• أدلة من علم الأجنة Evidences from Embryology

تؤدى دراسة تطور أى مخلوق منذ اللحظة الأولى للإخصاب حتى وقت ميلاده، إلى الحصول على أدلة كثيرة توضح العلاقة الوثيقة بين أشكال الحياة البسيطة والحياة المعقدة. فالأجنّة فى مراحلها الأولى فى بعض الحيوانات تكون لها

بنيات تتشابه مع بنيات لأشكال بالغة adult forms لحيوانات أقل تطورا. وقد تختفي هذه البنيات عند نمو الجنين، أو قد تصبح بنيات آثارية لا وظيفة لها؛ فمثلا فتحات الخياشيم اللاوظيفية توجد في أجنّة جميع الزواحف والحيوانات البرمائية والطيور والثدييات؛ وبالرغم من أنها تختفي قبل ميلاد الحيوان، فإنها تُرَى في الأجنّة كآثار متخلفة من الماضي تشير إلى سلف مائي مشترك لكل هذه الحيوانات السابق ذكرها.

ولقد أدت نتائج الدراسات التي تختص بعلم الأجنّة إلى صياغة ما يسمى بالقانون الحيوي biogenic law أو قانون الإعادة recapitulation law، الذي ينص على أن تاريخ أدوار نمو الفرد يعيد تاريخ تطور السلالة التي ينتمي إليها الفرد.

• أدلة من التصنيف Evidences from Classification

يعتمد التصنيف العلمي على علاقات القربى التي توجد بين المخلوقات. ويبدأ النظام اللّيني linnean system لتصنيف الحيوانات بأبسط أشكال الحياة الحيوانية (الحيوانات الأولية «البروتوزوا»)، ويتدرج حتى يصل إلى أكثر الحيوانات تعقيدا (الحبليات cordata) ويتضح لنا من هذا التصنيف الذي يعتمد على العلاقات البنيوية أيضا أن هناك خطا يدل على انحدار الحيوانات من أصل واحد يمكن تفسيره بسهولة على أساس العمليات التطورية.

• أدلة من علم الوراثة Evidences form Genetics

أضاف علم الوراثة الكثير من المعلومات التي ساعدت على قبول فكرة التطور. فقد استطاع الإنسان من خلال فكرة الانتخاب الاصطناعي أو السيطرة على عملية التربية والتهجين controlled breeding، أن ينتج أنواعا مختلفة من النباتات والحيوانات. وعلى سبيل المثال، إذا تتبعنا أصل جميع الخيول الموجودة حاليا، فسوف تتبين أنها كلها ترجع إلى أصل واحد هو نوع الحصان البري.

وقد تمكن علماء الوراثة أن يستنبطوا أنواعا مختلفة من المخلوقات مثل ذبابة الفاكهة، عن طريق اختبارات معملية أجريت بدقة وإحكام شديدين. وتعتمد تجارب التربية والتهجين التحكمي على عملية التطور في تجاربها على أنها أساس

عملى. (وإن كـان حقـا أن تجارب التهـجين لم تنـتج بعد أنواعـا جديدة، إلا أننا يجب أن تتذكـر أن الإنسـان قـد بـدأ نشاطه فى هذا المجال مـنذ نحو ٤٠٠٠ سنة بينما يتطلب تطور نـوع جديـد إلى ملايين أو عشرات الملايـن مـن السـنين).

• أدلة من التوزيع الجغرافى Evidences from Geographic Distribution

يعتقد أن العـلاقات التوزيعية لحيوانات معـينة ترجع إلى التغيرات التطورية، وتوجد أدلة فـى بعض الحالات تشيـر إلى أن الأنواع التى نشأت أصـلا فى مناطق مركزية مـعينة، طرأت عليها تغيـرات عندما انعزلت. ومثال ذلك الجـمل فى آسيا وحيوان اللاما فى أميركا الجنـوبية انحدرا من نفس الأصل قبل أن تنفصل القارتان إحداهما عن الأخـرى. وبعد انفصالهـما بدأ التطور يـسير فى اتجاهين مـختلفين، ولهذا فيـدو أن الانعزال isolation من الممكن أن يؤدى إلى ظهور أنواع جديدة.

• أدلة من علم الحفريات Evidences from Paleontology

تمدنا الأدلة التى تقدمـها دراسة الحـفريات بحجج قاطـعة تؤيد فكرة التطور العضـوى. وتبين الحفريات التطور المستمر فى هذا المجال، ذلك لأن أقدم الصـخور تحمل حـفريات تمثل أبـسط أشكال الحيـاة، وتصبـر البقايا الحفـرية أكثر تعقـيدا فى الصخور الأحدث عـمرا. وعليه فإذا رتبنا هذه الحفريات فى تـتابع زمنى، فـسوف نجد أنها تُظْهِـر تطورا تدريجيا، يكون تفـسيره المنطقى أنه نتج عن التطور العضوى. كذلك فهناك اتجاهات تطورية فـى كل مجموعة، فمثلا الجـرابتوليتات graptolites لها سـتة اتجاهات كلها لمصلحـة المـستعمـرة؛ كذلك فإن مجـموعة micraster من القنفذانيـات تظهر تغيرات جـيدة التوثيق فى التـابع الصخرى كلما ازدادت تكـيفا وملاءمة لتُدفن فى رواسـب القاع.

وأخيرا نجد فى شعبة الحبليات phylum chordata، على وجه الخصـوص، حفريـات تعد حلقات وصل. ولقد رأينا قـبلا أنه من الصعب تقرير مـا إذا كانت بعض الأشـكال زواحف أو برمائيات. أما الأركـيوبتيركس (أول طائر له ريش)، له أيضـا ملامح كـثيرة من صفـات الزواحف. ولسوء الحظ، فمازال هناك الكـثير من «الحلقات المفقودة» التى تجعل صورة التطور لنوعنا البشرى غير واضـحة.

الفصل الثامن عشر

تاريخ الأرض

EARTH HISTORY

تعرضت الأرض لتغيرات عديدة خلال تاريخها الطويل، وسواء أكانت هذه التغيرات فيزيقية أم بيولوجية، فقد كانت لها تأثيرات على المناخ والجغرافيا والطوبوغرافيا وأشكال الحياة فى أزمنة ما قبل التاريخ. وسوف نلقى الضوء فى هذا الفصل على بعض هذه التغيرات ودورها فى التاريخ الجيولوجى.

١-أحقاب ما قبل الكمبرى The Pre-Cambrian Eras

يكوّن حقب الأركيوزوى (حقب الحياة العتيقة) Archaeozoic Era مع حقب البروتيروزوى (حقب طلائع الحياة) Proterozoic Era مجموعة واحدة يطلق عليها حقب ما قبل الكمبرى Pre-Cambrian ولقد تأثرت صخور ما قبل الكمبرى كثيرا بالعمليات الجيولوجية، مثل الطى والانضغاط الشديد وأصبحت لذلك معقوصة contorted، كذلك تأثرت كثيرا بعوامل التحول metamorphism. ويعد سجل هذا الجزء من تاريخ الأرض من أكثر الموضوعات صعوبة فى تفسيره.

ويشمل حقبا الأركيوزوى والبروتيروزوى معظم الزمن الجيولوجى من بداية تاريخ الأرض حتى بداية ترسيب طبقات الكمبرى الحفرية. وإذا كانت الأرض على القدم الذى نعتقده، فإن حقب ما قبل الكمبرى يمثل ما يقرب من ٨٥٪ من التاريخ.

•حقب الأركيوزوى Archaeozoic Era

يغطى حقب الأركيوزوى مرحلة طويلة من الزمن، كانت فيها الأرض خالية من الحياة. ومع ذلك فهناك أدلة حفرية غير مباشرة توجد على هيئة رواسب حاملة

للكربون carbon - bearing قد تكون عضوية الأصل. وتكون معظم صخور الحقب الأركيوزوى أساسا من صخور بركانية ورسوبية متحولة تحولا شديدا، تخترقها صخور الجرانيت. ولقد حدثت تغيرات كثيرة فى هذه الصخور، حتى إن المعلومات التى أمكن الحصول عليها بشأن طبيعة نشوء هذه الصخور تعد معلومات محدودة للغاية. وكانت تلك المرحلة هى زمن النشاط النارى igneous activity وبناء الجبال، وحدثت فى نهايته عمليات التحات الشامل (الكتلى) massive erosion، التى تميز نهاية الحقب الأركيوزوى.

- **حقب البروتيروزوى Proterozoic Era**

تكونت صخور حقب البروتيروزوى بعد فترة التحات الطويلة التى ميزت نهاية حقب الأركيوزوى. ويعتقد أن هذا الحقب قد بدأ منذ أكثر من ألفَى مليون سنة، ويشمل فترات التلج glaciation، والنشاط البركانى volcanic activity، والترسيب البحرى marine sedimentation وعلى العموم فإن طبقات البروتيروزوى تحتوى على صخور رسوبية أكثر وعلى صخور نارية ومتحولة أقل مما هو عليه الحال فى صخور حقب الأركيوزوى. وتحتوى صخور البروتيروزوى على أقدم دليل حفرى معروف عن الحياة، ويتكون أساسا من الديدان الحفارة وأشواك الإسفنج والراديولاريا والطحالب الجيرية calcareous algae. وقد أفرزت بعض الطحالب البحرية كتلا ضخمة من الحجر الجيرى العضوى والتى تعد من أكثر أنواع الحفريات انتشارا فى ذلك الحقب. ويبدو أنه لم تكن هناك حياة على البر. وبقدر ما أمكن تحديده من السجل الحفرى الشحيح فإن المناخ فى الحقب البروتيروزوى تراوح من الدافئ الرطب إلى الجاف البارد. وتحتوى صخور البروتيروزوى على بعض أكبر الرواسب الفلزية القيِّمة التى عرفها الإنسان، مثل الفضة والذهب والنيكل والحديد والنحاس والكوبالت.

٢- حقب ما قبل الكمبرى فى بريطانيا The Pre-Cambrian of Britain

تعد المصطلحات التى ذكرت فيما سبق، تطورا حديثا إلى حد ما، وسوف يجد القارئ أن معظم المراجع تصنف صخور هذين الحقبين وتضمهما تحت عنوان واحد هو حقب ما قبل الكمبرى. وقد استخدمت أسماء أخرى للدلالة على

هذا الحقب مثل الآزوى Azoic والإيوزوى Eozoic والكلمتان من أصل إغريقى فالأولى «آزوى» تعنى بلا حياة، بينما تعنى الثانية «إيوزوى» فجر الحياة.

• اللويزى Lewisian

يبلغ عمر صخور اللويزى ثلاثة آلاف مليون سنة تقريبا، وهى صخور الأركيوزوى الوحيدة فى بريطانيا المؤكد عمرها بالضبط. وتوجد فى مناطق محددة، فى شمال غرب المرتفعات فى سكوتلندا north-west Highlands of Scotland، وكذلك فى الهبريدز Hebrides، حيث توجد بشكل واضح فوق جزيرة لويس Lewis Island. وتشمل مجموعة اللويزىLewisian group أنواعا كثيرة من الصخور، تضم صخور النيس gneisses والشيست schists وكل أنواع الصخور المتحولة، وتخترق هذه الصخور سلاسل من الجدد القاطعة dykes وتعرضت هذه المجموعة الصخرية المعقدة كلها إلى الطى الشديد نتيجة للحركة الأوروجينية القديمة ancient orogeny.

• التوريدونى Torridonian

إن عمر صخور التوريدونى غير معلوم، لكن هذه الصخور ترتكز فوق صخور اللويزى مباشرة، وتعلوها صخور الكمبرى الأسفل. ويقتصر وجود صخور التوريدونى على اسكتلندا بالتحديد، حيث يبلغ سمكها ٢٠ ألف قدم فى منطقة سكاى Skye. وتشمل صخور التوريدونى مجموعة من الصخور الرسوبية تتميز بالحجر الرملى الأركوزى الأحمر red arkosic sandstone، ونظرا لأن صخور الأركوز غنية فى محتوى الفلسبار، وهو معدن حساس لعملية التجوية فى الظروف الرطبة، لذا يفترض أن تلك الصخور ترسبت بسرعة.

• المويني Moinian

يعد تحديد عمر النَّسق المويني من الأمور الصعبة، نظرا لعملية الطى التى تعرض لها لاحقا، لكن عمر المويني قدر بحوالى ١٠٠٠ مليون سنة. وتتكون صخور هذا النسق من مجموعة من الصخور المتحولة، توجد متصدعة ملسورة (thrust) بواسطة صدع عملاق رماها فوق صخور التوريدونى وصخور اللويزى.

• الدالرادى Dalradian

ربما تكون هذه المجموعة متزامنة أو أحدث قليلا من الموينى. ويشكل الدالرادى الجزء المركزى للمرتفعات الاسكتلندية central Highlands of Scotland، ويتكون من سلسلة محددة مميزة من الصخور، تشمل الجروق graywacke، والحجر الجيرى الطحلبى algal limestone، وكذلك صخورا بركانية. وتوجد بعض الحفريات من الكمبرى المبكر فى الطبقات العلوية، وتشمل الترايلوبيتات trilobites · ويعتقد أن صخور الدالرادى العلوى تؤذن بنهاية ما قبل الكمبرى وبداية حقب جديد. هذه المجموعات الأربع التى ذكرت قاصرة على اسكتلندا، بينما فى المكاشف الصغيرة المنعزلة فى أماكن أخرى من إنجلترا وويلز، فقد وجد أنه يصعب جدا تأريخها وتحديد أعمارها. ومنذ حوالى ٧٠٠ مليون سنة مضت (قرب نهاية ما قبل الكمبرى)، كانت بريطانيا جزءا من قشرة جرانيتية ضخمة على هيئة قارة كبرى تسمى بانجايا Pangaea وهذه كانت تشمل أوربا والأمريكتين وأفريقيا. وفى الوقت نفسه، كانت أستراليا قد انشطرت عنها، ويفصل بينهما بحر ضيق ضحل. وتكوّن صخور ما قبل الكمبرى درعا جرانيتيا ثابتًا فى وسط وغرب أستراليا.

٢- حقب الباليوزوى The Palaeozoic Era

تمثل بداية الباليوزوى (حقب الحياة القديمة) أول تسجيل دقيق للتاريخ الجيولوجى. ولم تتعرض صخور الحقب الباليوزوى إلى تغيرات فيزيقية هائلة، مثل تلك التى تعرضت لها صخور حقب ما قبل الكمبرى. وتتميز صخور حقب الباليوزوى بوفرة الصخور الرسوبية، والكثير منها يتميز بمحتوى حفرى كبير للغاية.

ويقسم حقب الحياة القديمة الذى بدأ منذ أكثر من ٦٠٠ مليون سنة إلى ستة أدوار six periods (يقسم فى أميركا إلى سبعة أدوار) من الزمن الجيولوجى. وتختلف هذه الأدوار فى مدتها الزمنية؛ إذ يتردد عمر الدور بين ٢٠ مليون سنة ومئة مليون سنة. وقد قسمت هذه الأدوار الجيولوجية على أساس فترات قصيرة نسبيا من الرفع القارى. وخلال هذه الفترات انحسرت البحار عن القارات.

وفترات الرفع هذه تلتها فترات غمرت البحار فيها القارات جزئيا وترسبت الرواسب فى تلك الأجزاء المغمورة.

والآن دعنا نلخص أدوار حقب الحياة القديمة، وندرس بعضا من تاريخها الفيزيقى، ومناخها وأشكال الحياة فيها.

٤-الدورالكمبرى The Cambrian Period

الدور الكمبرى هو أقدم أدوار حقب الحياة القديمة (الباليوزوى). وهو أول أدوار التاريخ الجيولوچى الذى نجد فيه وفرة من الحفريات التى حفظت جيدا. واشتق اسم الدور من كلمة Cambria وهو الاسم اللاتينى لمقاطعة ويلز Wales حيث درست هذه الصخور لأول مرة فى تلك المقاطعة.

وقد بدأ دور الكمبرى منذ ٦٠٠ مليون سنة تقريبا، عندما كان يغمر معظم بريطانيا بحر ضحل، وزاد عمق هذا البحر ببطء عندما هبطت المنطقة لتكون قعيرة الباليوزوى الكبرى vast Paleozoic geosyncline التى امتدت من أيرلندا عبر مقاطعة ويلز ونظام الجبال المركزى الذى يفصل بين المناطق العالية والمناطق المنخفضة فى اسكتلندا ثم تصل إلى اسكندنافيا .وتتكون قاعدة الكمبرى السفلى من صخور الكونجلوميرات تليها إلى أعلى سلسلة من الطفلة اللاحفرية وصخور الجريت ثم مجموعة لنجويلا lingulella group الغنية بحفريات الترايلوبيتات (مثلا بجنس *Agnostus*، وجنس *Paradoxides*)، وحفريات المرجانيات (جنس *Lingulella*) وظهور أول جرابتوليت شجيرى dendroid graptolite (*Dictyonema*) فى الكمبرى العلوى. وتشمل هذه المجموعة جزءا من حجر دورنس الجيرى Durness limestone والتى تكون طبقاته السفلية من صخور الكمبرى التى ترتكز مباشرة على صخور التوريدونى Torridonian فى اسكتلندا. وقد تعرضت طفلة ويلش Welsh Shales إلى عملية التحول مكونة صخور الأردواز التى تستخدم فى« تبليط» الأسقف.

ومن المحتمل أن تكون الكتلة البرية التى أصبحت أميركا فيما بعد، كانت أكثر قربا من أوربا فى ذلك الوقت، وكانت مصدرا للمواد التى ترسبت فوق الصخور التى ذكرت فيما سبق، بالرغم من أن ثلثها تقريبا كان قد تعرض للغمر

أيضا. وفى الوقت نفسه، فقد صار البحر الأسترالى أكثر ضيقا إلا أنه ظل ضحلا. وفى الدور الكمبرى، سادت الترايلوبيتات والمرجانيات غير المعشقة. وكانت الترايلوبيتات على وجه الخصوص متعددة، وكانت تشكل حوالى ٦٠ فى المئة من الفونة الكلية.

وفى الدور الكمبرى أيضا، كانت توجد بعض اللافقاريات مثل الحيوانات الأولية «البروتوزوا» protozoans، والإسفنجيات sponges، والقوقعيات snails، والديدانworms والكيسيات cystoids، والجرابتوليتات الشجيرية dendroid graptolites. أما عن الحياة البرية والحياة فى المياه العذبة فلا يوجد لها سجل فى صخور الدور الكمبرى؛ كذلك لايوجد أى دليل على بقايا الحيوانات الفقارية.

ويمكن أن تكون لنا تأملات فقط عن المناخ فى الدور الكمبرى، ويبدو أن المناطق المناخية لم تكن محددة بوضوح كما هو الحال اليوم؛ وعلى وجه العموم فيمكن القول بأن المناخ كان معتدلا وغير متباين equable.

٥- الدورالأردوفيشى The Ordovician Period

اشتق اسم الدور الأردوفيشى الذى استمر ٧٥ مليون سنة (أقصر من الدور الكمبرى بحوالى ٢٥ مليون سنة) من اسم قبائل أردوفيس Ordovices، وهى قبائل قديمة استوطنت مقاطعة ويلز. وتوجد صخور الأردوفيشى متوضعة فوق صخور الكمبرى بلا توافق (وفى بعض الأماكن تتوضع فوق صخور ما قبل الكمبرى)، ولاحقة لفترة رفع. وقد حدثت حركة طغيان بحرى متجددة نشأ منها الدور كله الذى ينقسم إلى خمسة نسق، وهذه بدءا بأقدمها هى:

أرينج Arenig، ليلانفرن Llanvirn، ليلانديلو Llandeilo، كارادوك Caradoc، أشجيل Ashgill، وفى بعض الأحيان يُضم النسقان الأخيران فى نسق واحد يسمى نسق بالا Bala Series.

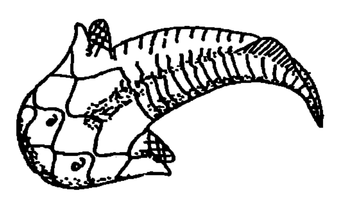
وكانت صخور الأردوفيشى أساسا طفلة جرابتوليتية سوداء تتخللها رواسب بحرية ضحلة تحتوى على وفرة من الترايلوبيتات والمرجانيات. وقد تعرضت بعض رواسب الطفلة إلى عمليات التحول فصارت صخرا أردوازيا. وقد تميزت

القـعـيرة العظمـى بشىء لم يكن ظاهرا فى أثنـاء الزمن الـكمبـرى وهو النشـاط البركانى الكبير، الذى تسبب فى ترسيـب كميات هائلة من الرماد البركانى واللابة وبخاصـة فى سنودونيا Snowdonia. وهذه المواد التى ترسبت فى تلك الفـترة قد أتت من الشـمال الغـربى ومن المرتفعـات الاسـكتلندية Scottish Highlandsالتى أصبـحت كتلة برية. وهناك كـتلتان أخريان منخـفضتـان بريّتان وجـدنا جزءا من الوقت خلال هذا الـدور: امتـدت الأولى عـبـر البـحـر الأيرلندى Irish Sea. وجزيرة مان Isle of Man وفى منطقـة البحـيرات؛ وامتـدت الكتلة الثانـية من جنوب يوركشير إلى الجنوب حـتى مقاطعة كنت Kent وعبر مصب نهـر السـيفرن Severn Estuary. وهناك بحـوث عـديدة أجـريت عـلى صـخـور هذه المناطق الأردوفيشية وما بها من حفريـات، قام بها سـير رودريك مورشيـسونSir Roderick Murchison وآدم سـدويك Adam Sedgwick، لذلك جـرى تكريمهـما بإطلاق اسـميهـما على بعض حـفريات تلك الفـترة: *Murchisoni Didymograptus* أو «جرابتـوليت الشوكـة الرنانة Tuning-fork graptolite» و *Angelina sedgwicki* وهى من الترايلوبيتات، وقد سجل وجود خط سـاحل قديم كاملا بجروفه ومعالم خطوطه الشـاطئية فى أجـزاء من المنطقة. ولا بد أن نتـذكر أن نُـسق الأردوفـيشى الخمـسة لا توجد كـاملة دائما فى أى مكان من المنطقـة، فعلى سـبيل المثال، فى أجـزاء مـن شرويشـاير توجـد طبـقات الكاردوك (الأردفـيـشى العلوى) وترتكز مباشرة فوق صخور الكمبرى وما قبل الكمبرى.

وأغلب الظن أن مناخ الأردوفـيشى كان مـعتدلا ومـتباينا فى مـعظم أنحاء العالم، أما المناطق الناخية، إذا وجدت، فمن المفروض أنها كانت أقل وضوحا من مثيلاتها فى الوقت الحاضر. وقد كانت بحار الأردوفيشى الواسعة الانتشار والدافئة سببـا مباشرا فى انتشـار الحياة البحرية وامـتدادها خلال تلك الفتـرة. وقد استنتج ذلك من السجل البـاليتولوجى، الـذى يـدل عـلـى أن هذه البحار كـانت زاخرة بالأعـشـاب البـحرية، والبـروتوزوا، والمـرجـانيـات والبـريوزوا، والمراجـين، والجوفـمعـويات، ورقائقـيات الخـياشـيـم، والرأسقـدميـات، والتـرايلوبيـتات، والكيـسيات، والزنبقـاتيات، وأوائل الجلدشـوكيات والجـرابتوليتـات التى اتخذت أشكالا ذات ثمانية أو أربعة أو اثنين من الأفرع. ومن الأمور الملحوظة، هو التطور

الكبير للرأسقدميات المستقيمة وذات الأشكال القمعية والتى وصل طول بعضها إلى ١٥ قدما.

وبالرغم من غياب الفقاريات فى بريطانيا، إلا أنها كانت قد بدأت فى الظهور، وكانت فى بدايتها أسماكا مدرعة صغيرة وبدائية (شكل ١٤٨)، وكانت بقاياها كسر من صفائح عظمية وحراشيف. وتسمى هذه الحيوانات ذات الظهر العظمى باسم اوستراكودرمات ostracoderms، وقد وجدت بقاياها لأول مرة فى جبال روكى بأميركا.



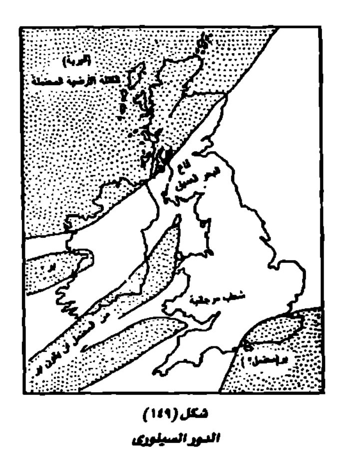
شكل (١٤٨)
استراكيدرم Ostracoderm من الأسماك البدائية

٦-الدور السيلورى The Silurian Period

ترجع تسمية الدور السيلورى بهذا الاسم نسبة إلى قبائل سلتية قديمة (السيلور) كانت تعيش فى ويلز، حيث دُرِست صخور السيلورى لأول مرة.

ويبدو أن هذا الدور استمر لفترة قصيرة نسبيا، حوالى ٢٠مليون سنة (بالرغم من أن بعض المصادر تقدر فترة استمرار الدور السيلورى بحوالى أربعين مليون سنة)٠ وحتى الآن لم تستقر الآراء على تقسيم الدور السيلورى إلى أنساق series، لكن معظم الجيولوجيين يقسمونه ثلاثة أنساق هي: لاندوفرى Llandovery، وونلوك Wenlock، ولدلو Ludlow. وكانت الصخور التى ترسبت فى الدور السيلورى متشابهة فى فترة ما مع صخور الدور الأردوفيشى، ولكن حدث إطماء تدريجى للقعيرة الكبرى geosyncline بكميات كبيرة من

الجروق والطفلة الجرابتوليتية graptolitic shale . وعلى حواف قاع القعيرة الكبيرة توجد الأحجار الجيرية والشعاب المرجانية متبادلة مع الطفلة . وقد حدث نقصان للنشاط البركاني، لكن الاضطرابات القشرية ازدادت مع قدوم الحركة الكاليدونية الأوروجينيةCaledonian Orogeny وباستثناء منطقة المرتفعات الاسكتلندية Highlands of Scotland، فقد تقدم البحر تدريجيا ليغمر الكتل البرية الأردوفيشية، كما ظهر إصبعان جديدان two new fingers من البر ناحية الجنوب الغربي في اتجاه مصب نهر السيفرن وعبر الأجزاء الجنوبية لأيرلندا (شكل ١٤٩).



شكل (١٤٩)
الدور السيلوري

وقد اعتبر البعض الطبقة العلوية من الدور السيلوري على أنها الطبقة القاعدية للدور الذي يلي السيلوري من أعلى. وهذه الطبقة ذات شأن كبير، وتسمى طبقة لدلو العظمية Ludlow Bone-Bed ويبلغ سمكها عدة بوصات فقط وتحتوي على عدد كبير من كسر الأسماك البدائية، والتي لم تكن وجدت قبل ذلك

إلا فى أميركا فقط. وهناك أدلة على أن هذه الأسماك كانت حيوانات مياه عذبة، وعليه فأغلب الظن أن لها أسلافا انقرضت دون أن تترك خلفها سجلا حفريا.

•الحركة الكاليدونية Caledonian Orogeny

بدأت هذه الحركة خلال الدور السيلورى وبلغت أوجها حتى جعلت وهدة القعيرة الكبرى geosynclinal trough منطقة جبلية تمتد حتى اسكندنافيا. وقد صاحب هذه الحركات التكتونية انفجار للنشاط البركانى عندما تدخلت الصخور الجرانيتية فى الصخور الأقدم منها، كذلك فإن الصخور التى طويت وتصدعت بشدة من أثر هذه الحركات كان من الصعب دراستها وحل طلاسمها. لكن هناك البحوث الكثيرة أجريت على هذه الصخور والتى قام بها مارشيسون Murchison وشدويك Sedgwick، وتركت مهمة تصنيف هذه الصخور إلى الأستاذ تشارلز لابورت Charles Lapworth، الذى استخدم لذلك طريقة ابتكرها وليام سميث William Smith «رائد الجيولوجيا البريطانية» والتى تعتمد على مضاهاة الصخور طبقا لمحتواها الحفرى.

وبنهاية الدور السيلورى وقدوم الحركة الكاليدونية، حدثت تغيرات عظيمة فى الفونة، فانقرضت الجرابتوليتات الحقيقية، وقلت الترايلوبيتات trilobites، وبدأت الفقاريات فى الظهور، وحلت أشكال جديدة محل الأشكال القديمة.

ومن المحتمل أن مناخ السيلورى كان دافئا ومعتدلا عبر مناطق شاسعة ممتدة، وقد بنى هذا الافتراض على أساس وجود أعداد كبيرة من المراجين البانية للشعاب وكذلك رواسب الحجر الجيرى والدولوميت ذات السمك الكبير المنتشرة فى أماكن كثيرة.

وتعد رواسب الملح والجبس الهائلة التى توجد فى الدور السيلورى العلوى، دليلا على سيادة فترة قحولة شديدة فى مناطق العالم التى وجدت فيها هذه الرواسب. وتتميز الحياة البحرية فى الدور السيلورى بامتداد وانتشار المراجين البانية للشعاب، والمرجانيات المعشقة، والبريوزوا والجلد شوكيات، والرخويات والجرابتوليتات (جنس *Monograptus* أساسا وبعض الأشكال المعقدة والعديدة التفرع والأشكال الملتفة coiled). ووصلت الترايلوبيتات إلى قمة تطورها قبل أن

يحدث لهـا تدهور سريع حتى قاربت الانقراض. كذلك كانت هناك لافـقاريات كثيـرة تعيش فى بحار الكمـبرى والأردوفيشى. وكـانت أكبر الحيـوانات تميزا فى السيلورى مجمـوعة من المفصليات التى تشبه العقـارب والتى تـسمى باليوريتريدات eurypterids أو العقارب البحرية.

وتعـد الأسمـاك البـدائية هى الفـقـاريات الوحيـدة التى سـجلت فى دور السيلورى، والتى كانت تشبه مثيلاتها بصخور الدور الأردوفيشى.

وفى دور الســيلورى ظهـرت أول نبـاتات وحـيـوانات برية. وكـانت أول حيوانات برية هى العـقارب والديدان ذات الألف قدم milllipedes، وقد ظهرت فى الدور السيلورى المتأخر. كـما عثر على كـسر متحفـرة لما يـسمى بالنباتات البرية land-dwelling plants فى صخور السيلورى العلوى فى إنجلترا وأسـتراليا. وخلال أدوار الأردوفيـشى والسـيلورى، أخـذ البحر يضـيق فى أسـتراليا وبدأ يهـاجر إلى الشرق.

٧- الدور الديفونى The Devonian Period

ترجع تـسمية الديـفونى Devonian إلى اسم مـقاطعة ديفـونشاير بإنجـلترا devonshire، حيث درست الصخـور البحرية لأول مرة. واستـمر الدور الديفونى مدة طولهـا بين ٥٠ و ٦٠ مليون سنة. وقد تـسببت الحركـة الكاليدونية فى قـيام سلاسل جبال عظيمة، وكان معظم بريطانيـا جزءا من قارة خط شاطئها يجرى عبر المقاطعات الجنوبية.

ويقسم الدور الديفونى طبقا للرواسب القارية إلى:

* الحجر الرملى الأحـمر القديم Old Red Sandstone، والصخور البحرية الديفونية Marine Devonian .

• الحجر الرملى الأحمر القديم Old Red Sandstone

(يختـصـر الاسم إلى O . R . S) وتتكشف صـخـوره فى الوادى الأوسط لاسكتلندا Midland Valley وشيفيوتس Cheviots، وفى مناطق أخرى كثيرة فى إنجلترا وويلز Wales.

وتحتوى هذه الصــخور على حفريات قليلة، وهى طبقات حـمراء فى الحالة النموذجية، لكنهـا تحتوى على طبقات ذات ألوان متعددة. ويــسـمى الحجر الجيرى اللاحفـرى الموجود ضــمن هذه الصخـور باسم كورنــستـون cornstones، وربما يكـون هـذا الصخر قـد تكون نتيجة لعمليـة التبخر. لكن الحجـر الرملى الأحمر القديم يتكون فى صورته المثالية من صخور المارل والحجر الرملى الغليظ التحبب. وقد طفحت البراكين كمـيات هائلة من الرماد البركانى واللابة فى الوادى الأوسط لاسكتلندا. وفى جنوب إنجلترا كانت هناك دلتـا كبيرة ومنطقة مـستنقعات تصرف مياهها فى البحر.

• الديفونى البحرى Marine Devonian

تكون الطبـقات البـحرية التـى أدت إلى تكوين التربة الحـمراء فى ديفـون Devon من أحجار جـيرية وطفلة وأحجار رملـية تمثل دورة مثالية لـلرف البحرى typical shelf - sea cycle تتكون من أحجار جيرية وطفلة وأحجار رملية.

وقد تقدم البحر خلال هذه الفترة وتراجع بشكل متكرر حين تعرضت المنطقة للهبوط. ويوجد اليوم قطاع رأسى يمر خلال طبقات بحرية تتبادل مع رواسب برية ودلتائية deltaic.

ويبدو أن المناخ فى معظم أقسام الدور الديفـونى كان معتدلا ولا توجد أدلة على وجـود أحزمـة مناخيـة واضحـة فى أى مكان فى العالم خـلال هذا الدور. وتميزت الحـياة الديفـونية بانتـشار النباتـات البرية land plants وتزايد الحـيوانات الفقارية. واشتملت النباتات على أسلاف غابات مـستنقعات الفحم التى قدر لها أن تـسود معظم الدور التـالى. وتمثلت الحيوانات اللافقاريـة بأنواع عديدة من المراجين البانية للشعاب، والإسفنجيات، والجلدشوكيات (وبخاصة الزنبقانيات)، ورقائقيات الخياشـيم، والبطنقدميات.

وكانـت المـرجانيـات أكثر الحيوانـات شـيوعا فى الزمن الديفونى. وفى هذا الدور كانت الترايلوبيـتات موجودة ولكن أعـدادها كانت فى تناقص مـستمر. وكـان ظهـور أول الأمونويدات ammonoid ممثلا بظهور أشكال صغيرة لها خط درز من النوع الجونياتيتى goniatitic؛ وكذلك ظهرت الحشرات لأول مرة.

وبالنسبة للفقاريات فقد تعرضت لتطورات غير مسبوقة، وشاع وجود أسماك المياه العذبة والأسماك البحرية. ومن بينها الأستراكودرمات ostracoderm، والأسماك الفكية jawed fishes والبلاكودرمات المدرعةarmoured placoderms. وظهر القرش الحقيقى؛ كذلك ظهرت مجموعة من الأشكال الكبيرة الشبيهة بالقروش sharks وتعرف باسم الأرثروديرات arthodires وكان البعض منها مدرعا بعظام قوية ووصل طول الواحد منها ثلاثين قدما .

وبالرغم من ذلك فقد كان أهم شىء فى هذا الموضوع هو ظهور أول أنواع الفقاريات ذوات الأربع. ويبدو أن البرمائيات البدائية قد نشأت عن أسماك الكروسوبتريجات crossopterygians أو الأسماك الديفونية ذوات الرئات lungfishes .

٨-الدورالكربونى The Carboniferous Period

استمر الدور الكربونى لمدة تزيد على٦٥ مليون سنة، ويقسم إلى ثلاثة أطوار محددة طبقا لنوع الصخور الموجودة:

الحجر الجيرى الكربونى Carboniferous Limestone؛ جريت حجر الطاحون Millstone Grit ومتكونات الفحم Coal Measures ويعرف الحجر الجيرى الكربونى أيضا باسم الدور الكربونى السفلى، ويكافئ تقريبا ما يسميه الأميركيون باسم الدور الميسيسيبى Mississippian Period وتمثل متكونات الفحم الدور الكربونى العلوى والذى يطلق عليه اسم الدور البنسلفانى Pennsylvanian Peoiod فى أميركا.

•الحجرالجيرىالكربونى Carboniferous Limestone

خلال هذه الفترة من الدور الكربونى، تقدم البحر بثبات فى اتجاه الشمال فوق بقايا قارة الحجر الرملى الأحمر القديم، المعروفة باسم أرض القديس جورج Saint Greorge's Land مكونا طبقات سميكة من الحجر الجيرى. وقد قسمت هذه الطبقات إلى نطاقات طبقا لأشكال المراجين الموجودة بها . وتتميز قاعدة الحجر الجيرى بنطاقات أحدث كلما اتجهنا شمالا (استدل على ذلك من أشكال المراجين

والمرجانيات الموجودة)، وبينما كان هذا يحدث، كانت هناك دلتا تتصرف فى وسط اسكتلندا ودخل أثناء ذلك نشاط بركانى. وتقدم أيضا بحر قديم إلى يوركشير عبر جبال بنيز Pennines، ونتج عن تلك الظروف غير الثابتة، دورة ترسيبية متواترة (رتمية) rhythmic تعرف باسم سحنة يورديل Yoredale facies وهى تتكون أساسا من تتابع من الحجر الجيرى والأردواز والحجرالرملى، وفى بعض الأحيان أشرطة من الفحم.

• جريت حجرالطاحون Millstone Grit

تغطى الصخور المعروفة باسم جريت حجر الطاحون معظم وسط إنجلترا، وقد تكونت فى ظروف دلتاية deltaic conditions حيث يختلط صخر الجريت البريشى brecciated grit، ردىء الفرز ذو التطبق الكاذب مع أشرطة من رواسب بحرية، مما قد يدل على أن الظروف السائدة آنذاك لم تكن مستقرة. وإلى الجنوب كانت هناك قعيرة عظمى geosyncline تمتد عبر القنال الإنجليزى English channel وسرعان ما ملئت بالجراوق greywackes.

• مكونات الفحم Coal Measures

أدى وجود المستنقعات الضخمة المتسعة، والنمو الوافر للنباتات، والظروف غير المستقرة باستمرار إلى هذا الطور الفريد من التاريخ الجيولوجى. فعندما هبط قاع البحر وارتفع البر، حدث نحات للمواد الصخرية ثم حدث لها ترسيب، وانعكست الآية على هيئة ترسيب متواترrhythmic من الطفلة البحرية وحجر الطين اللاجونى lagoonal mudstone وصخر الجريت الدلتائى deltaic grit والحجر الرملى والحجر الطينى والطين الحرارى المستنقعى swampy fireclaysوالمراجين. ويعد توزيع مراكز مناجم الفحم فى بريطانيا دليلا على الانتشار الواسع لتكوينات الفحم، التى امتدت تحت بحر الشمال.

وبنهاية الدور الكربونى حدثت حركة عظيمة أخرى بانية للجبال تعرف باسم الحركة الأرموريكية Armorican (أو الهرسينية Hercynian) وكان تأثير هذه الحركة شديدا وملحوظا فى الجنوب، حيث تدخل جرانيت دارتمورDartmoor granite هو والتمعدنات المصاحبة له، وكذلك النشاط البركانى. وفى اتجاه الشمال، كان التأثير

أقل شدة، وكان الطى والتصدع أكثر لطفا. وخلال الدور الكربونى كانت الحياة مزدهرة على البر وفى الماء، فكانت البحار زاخرة باللافقاريات مثل الفورامينيفيرا foraminifers، والبريوزوا bryozoans والمرجانيات brachiopods، والرأسقدميات cephalopods والبرعمانيات blastoids، والزنبقانيات crinoids (كونت فى بعض الأماكن كتلا من الحجر الجيرى الزنبقانى crinoidal limestone) والمراجين corals. واشتملت المرجانيات التى تستخدم حفريات نطاقية zone fossils مع المراجين Corals على جنس برودكتس الشوكى Spiny *Productus*. أما المراجين التى استخدمت حفريات نطاقية فى الحجر الجيرى الكربونى فهى(من الأقدم إلى الأحدث):

Cleistopora (نطاق K)، *Zaphrentis* (نطاق Z)، *Coninia* (نطاق C)، وسمى النطاق الذى يليه نسبة إلى المرجانية *Seminula* (نطاق S). وهذا الجنس الأخير يرتبط غالبا بالمرجان الكتلى massive coral المسمى *Lithostrotion*. وأخيرا يأتى (نطاق D) المسمى باسم الجنس *Dibunophyllum* وقد قسمت هذه النطق الرئيسة إلى نطيقات فيما بعد. وقد تقدمت رقاقيات الخياشيم lamellibranchs إلى بحيرات المياه العذبة .وكونت الحشرات جزءا مهما من القونة واشتملت على أنواع ذات أجنحة عرض امتدادها يصل إلى ٣٠ بوصة. وكانت الحشرات ضرورية للإخصاب الناجح لبعض النباتات التى كانت مزدهرة للغاية. وكانت الغابات المستنقعية مكونة من السرخسيات الكبيرة large ferns وبعض النباتات الأخرى، ومن أكثر أنواع الفلورة شيوعا كانت أجناس *Lepidodendron* و*Sigillaria*.

وتنوعت الأسماك، وبلغت البرمائيات ذروة تطورها وكانت أعظم خطوة إلى الأمام تختص بالفقاريات هى ظهور الزواحف التى كانت لها القدرة على أن تضع بيضا له صدفة أو قشرة جيرية .

وفى الوقت نفسه، مرت على أستراليا فترة بناء جبال أدت إلى اختفاء البحر الذى كان موجودا وصامدا منذ الدور الكمبرى. وكان النشاط البركانى له أثره الواضح جهة الشرق، بينما ترسبت الأحجار الجيرية الغنية بالمراجين فى بقايا البحر.

٩-الدور البرمى The Permian Period

ترجع تسمية البرمى Permian إلى إقليم برم Perm بوسط روسيا، وهو آخر أدوار حقب الحياة القديمة، وقد استمر حوالى ٥٠ مليون سنة.

وفى الدور البرمى كان المناخ والجغرافيا والفونة والفلورة مختلفة إلى حد كبير عن مثيلاتها فى الأدوار السابقة من حقب الحياة القديمة.

وكانت بريطانيا أرضا قاحلة بعد الحركة الأوروجينية الأرموريكية Armorican Orogenyوكانت طبقات البرمى هزيلة والحجر الرملى الذى تكون خلال هذا الدور وفى الدور الترياسى Triassic الذى تلاه كان يعرف باسم الحجر الرملى الأحمر الجديد New Red Sandstone وتوجد صخور البرمى فى توربای بمقاطعة ديفون كأقصى انتشار لها جهة الجنوب، حيث تتمثل بالأحجار الرملية الحمراء اللون والبريشة. وإلى الشمال، توجد صخور المارل التى حلت محل مكونات الفحم، وترسبت كتل من الأحجار الرملية فى ظروف شبه صحراوية وتتميز حبياتها بأنها فى حجم حبة الدخن وأن تطبقها كتى.

وقد امتد ذراع من بحر الزيخشتاين Zechstein Sea (وهو بحر عالى الملوحة) إلى وسط وشمال بريطانيا حيث توضعت رواسب فريدة من الحجر الجيرى المغنيسى. ويحتوى هذا الحجر الجيرى الدولوميتى على أشكال سرئية ودرنات وكرات من الحجر الجيرى قد يصل قطر الواحدة منها أربع بوصات. ولما تبخر بحر الزيخشتاين، ترسبت الرواسب الملحية ذات الأهمية الاقتصادية.

وتعد الشواهد الحفرية فى هذا الدور غير كافية ولكن القليل الموجود منها يشير إلى تغيرات عظيمة؛ فالترايلوبيتات التى كانت قد بدأت تختفى بالفعل فى بريطانيا أصبحت منقرضة. كذلك اختفت المرجانيات المتجعدة rugose corals والأمونيات الجونياتيتية، وزنبقانيات الباليوزوى والقنفذانيات(فيما عدا centrechinoids)، وتلاشت البرعمانيات والكيسيات للأبد. وتناقصت المرجانيات فى أعدادها وأصبحت صغيرة ومتقزمة stunted، لكنها كانت لا تزال موجودة. وتطورت أشكال جديدة للحياة فى بحر التيثز Tethys الذى يوجد فى مكانه تقريبا البحر المتوسط فى أيامنا هذه).

وكانت الصورة فى أميركا مشابهة لهذه الأحوال، لكنها لم تكن كذلك فى كل الأماكن. ولأول مرة حدث تغير صارخ فى المناخ حول العالم. وأخذت قارة أستراليا شكلها الحالى وأبعادها الحالية أيضا. وتعرضت هى وجنوب أفريقيا وأميركا الجنوبية إلى التثلج الشديد فغطتها مثالج هائلة عند بداية هذا الدور. ثم سادت بعد ذلك ظروف أكثر اعتدالا، وقد نشأت وتطورت أراض مستنقعية فى معظم أستراليا وآسيا وكانت شبيهة بتلك التى ظهرت فى الدور الكربونى.

ويستخرج الفحم من الدور الكمبرى فى أوربا والهند والصين وأستراليا، كما توجد طبقات قليلة منه فى أميركا. وكانت النباتات فى هذا الدور متشابهة إلى حد كبير مع نباتات الدورالسابق.

واستمرت البرمائيات والزواحف فى ازدهارها وسيادتها على البر، وكان بعض من الزواحف يبدى صفات الثدييات.

١٠-حقب الميزوزوى(حقب الحياة المتوسطة) The Mesozoic Era

سمى حقب الحياة المتوسطة بهذا الاسم، لأنه يمثل الفترة الانتقالية من النباتات والحيوانات البدائية نسبيا التى ظهرت فى حقب الحياة القديمة إلى الأشكال الأكثر تطورا فى الحقب الكاينوزوى (حقب الحياة الحديثة)، ومن ثم فيطلق على هذا الحقب اسم حقب الحياة الوسطى Middle-Life وخلال ١٦٧مليونا من السنوات وهى الفترة الزمنية التى دام خلالها حقب الحياة المتوسطة، حدث توسع وانتشار غير مسبوق للحيوانات البرية (وبخاصة الزواحف) وكان الشىء المهم أيضا هو ظهور الثدييات لأول مرة وكذلك النباتات الزهرية والطيور.

١١-الدور الترياسى The Triassic Period

الدور الترياسى هو أول أدوار حقب الحياة المتوسطة، واشتق اسمه من كلمة يونانية هى *Trias* ومعناها ثلاثة. ويرجع ذلك إلى التقسيم الثلاثى **threefold division** لصخور هذا الدور فى وسط ألمانيا حيث وصف لأول مرة. ويوجد فى بريطانيا أقدم نسق وأحدث نسق فقط من الترياسى، وهما: بنتر **Bunter** وكويبر **Keuper** على الترتيب، إذ لم يصل القسم الأوسط (الحجر الجيرى الصدفى أو الموشلكالك = **Muschelkalk**) إلى شواطئ بريطانيا.

ويتكون البونتر Bunter من أحجار رملية مبرقشة moulled sandstones وطبقات حصوية pebble beds. وكان بحر زخشتاين Zechstein Sea لا يزال يتبخر فى الشمال . ويدل وجود الوجهريحيات الثلاثية الأوجه dreikantersعلى الظروف الريحية.

ويتكون الكويبر Keuper من أحجار رملية ومارل (جيرى بالكاد) ورواسب ملحية. وكان البحر يقترب تدريجيا من الشواطئ الجنوبية لبريطانيا، وجلب معه ظروفا رطبة، ويستدل على ذلك من رواسب المارل الخضراء المعروفة باسم Tea Green Marls والمنكشفة فى مصب نهر سيفرن Severn Estuary.

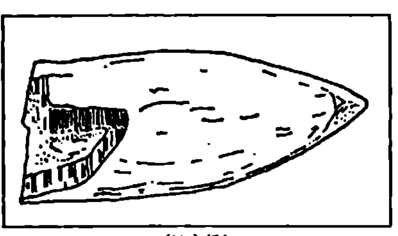
وانتهى الدور الترياسى بتكوين مجموعة من الطبقات الانتقالية المعروفة باسم النسق الرايتى Rhaetic Series، الذى اعتبر لمدة طويلة أنه جزء من الدور الجوراسى، لكن محتواه الحفرى يؤكد أنه يتبع الدور الترياسى، وقد تكونت صخور الرايتى فى لاجونات قطعت من البحر المتقدم بحواجز منخفضة، لذلك فهى من طبقات صلصالية أساسا.

وتكون طبقات الرايتى العظمية المشهورة من بقايا من الأسماك والبرمائيات والزواحف، ويبلغ سمكها حوالى بوصتين. ويرتكز الحجر الجيرى فوق النسق الرايتى ويشمل ما يسمى خطأ باسم رخام كوثمان Cothman Marble الذى يستخدم فى أغراض الزينة. ويدل وجود بقايا الزواحف والبرمائيات على مناخ معتدل ساد معظم أزمنة الدور الترياسى.

ويدل وجود بعض النباتات المتحفرة فى بعض الأماكن على مناخ دافئ رطب، بينما تدل رواسب الملح والجبس فى بعض المناطق على مناخ قاحل.

وفى الدور الترياسى، كانت الحياة مختلفة كثيرا عن الحياة فى أدوار حقب الحياة القديمة، حيث ظهرت مجموعات جديدة، سواء مائية أو برية. وكانت هناك تغيرات هامة فى اللافقاريات والفقاريات والنباتات. وشاع وجود النباتات البرية مثل الصنوبريات والسيكاديات والسراخس. وكانت هناك أنواع محددة من نباتات الفحم التى لاتزال تعيش . وتمثل الجذوع المتحجرة للأشجار الموجودة فى الغابة المتحجرة بأريزونا بقايا الأشجار الضخمة للدور الترياسى.

وتشمل اللافقاريات البحرية أعدادا كبيرة من الرأسقدميات cephalopods ورقائقيات الخياشيم lamellibranchs والبطنقدميات gastropods وقنافذ البحر echinoids والمراجين coral وكذلك أنواعا ممثلة لمعظم الشعب الأخرى للافقاريات. ويلاحظ أن عدد المرجانيات قل كثيرا وبالرغم من استمرار وجودها. وربما تكون الأمونيتات ammonites (الرأسقدميات الصدفية shelled cephalopods، والتي يوجد بها حواجز مشرشرة frilled Septa) هي أكثر أنواع الحيوانات المميزة لتلك الفترة. وكانت البليمنيات belemnites شائعة (شكل ١٥٠) وهي من أقارب الحباريات الحديثة modern squid. كذلك فإن المراجين البانية للشعاب التي تشبه الأنواع الحديثة كونت الشعاب المرجانية في أجزاء كثيرة من العالم.



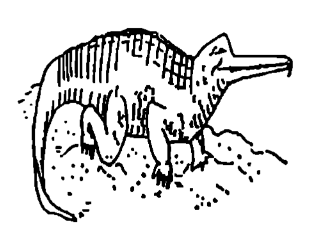
شكل (١٥٠)
بلمنيت *Belemnite*

وواصلت الفقاريات تطورها السريع، وكانت متنوعة وكثيرة، وكانت أسماك القرش sharksشائعة في البحار، وتزايدت أعداد الأسماك العظمية الحقيقية true bony fishes وتنوعت كثيرا في ضروبها. وظلت البرمائيات تعيش إلا أنها توارت في ظل التطور السريع للزواحف التي ازدهرت ونمت بقوة.

وكانت الزواحف هي الفقاريات السائدة خلال الدور الترياسي، وكانت تمثلها السلاحف turtles والفيتوصورات phytosaurs والزواحف

البحرية marine reptiles والدينوصورات dinosaurs وقد أبدت بعض من هذه الأشكال ميلا نحو الارتداد إلى أشكال سابقة قديمة. ولأنه لا يوجد بالطبع تطور تام عكسى(إلى الخلف) reversal evolution، فلم تصبح الزواحف البحرية أسماكا مرة أخرى، لكنها تأقلمت فقط مع الحياة البحرية. وسوف نجد أن للقروش(أسماك)، وللإكثيصورات ichthysaurs(زواحف) والدولفين dolphins (ثدييات) صفات متشابهة تجعلها تتأقلم مع بيئتها، ويقال لهذه الأشكال جميعا إنها تتطور تطورا متلاقيا convergent evolution.

وبمقارنة الدينوصورات القديمة بدينوصورات الدور الجوراسى والطباشيرى، سوف نجد أنها كانت صغيرة بالنسبة للدينوصورات العملاقة التى ازدهرت فى الدورين الجوارسى والطباشيرى، لكن بعضا من الزواحف البحرية وصلت إلى حجوم عملاقة، مثل الإكثيوصور الانسيابى الذى كان يشبه سمك أبو سيف swordfish، ومثل البليسيوصور الثقيل الحركة clumsy plesiosaurs. وقد وصل ارتفاع بعض من هذه الزواحف إلى ٤٠ قدما، بالرغم من أن ارتفاعها العادى كان يقل عن ذلك بكثير. وكانت هناك مجموعة مميزة من الزواحف مثل الفيتوصور البرمائى الذى كان يشبه التماسيح (انظر شكل ١٥١).



شكل (١٥١)

فيتوصور *Phytosaur*

١٢-الدور الجوراسى The Jurassic Period

سمى هذا الدور بهذا الاسم نسبة إلى جبال الجورا التى تقع بين فرنسا وسويسرا ·واستمر هذا الدور لمدة ٤٥ مليون سنة، وترجع شهرته إلى الزواحف الكثيرة التى عاشت خلاله. ويقسم الدور الجوراسى إلى الجوراسى السفلى، والجوراسى الأوسط، والجوراسى العلوى.

•الجوراسى السفلى Lower Jurassic

ويسمى أيضا اللياس Lias، وقد شهد تقدم البحر فوق معظم أجزاء القارة مخلفا بعض الجزر البعيدة عن الشاطئ، وذلك ما أرهصت به أحداث أواخر الزمن الترياسى ·وتتكون معظم صخور اللياسى من الصلصال والطفلة، غير أنه توجد صخور من الحجر الجيرى السرئى olitic limestones الغنى بالحديد فى جنوب إنجلترا. وقد كانت أرضية البحر غير مستقرة unstable وقد أجريت بحوث كثيرة على الجوراسى السفلى لتخيل صورة عن الحركة الدؤوب نحو الشمال لذلك البحر الطينى الدافئ وذلك عن طريق دراسة نطق الأمونيتات ammonite zones.

ويتميز اللياس العلوى Upper Lias بوجود نوعين من الطفلة، هما: طفلة الشب alum shale، وطفلة فحم الجيت Jet shales، ويستغل الشب اقتصاديا فى منطقة ويتباى Whitby، وتستخدم طفلة فحم الجيت فى بعض الأغراض الصناعية مثل صناعة المجوهرات وأعمال الزخرفة.

•الجوراسى الأوسط Middle Jurassic

يضم الجوراسى الأوسط الحجر الجيرى السرئى الشهير المسمى بالسرئى العظيم وكذلك السرئى الأسفل اللذين ترسبا فى بحار ضحلة دافئة صافية (كما هو موضح بالفصل الرابع). ونتج عن عمليات طى أرضية البحر تكوّن قعيرة كبرى geosyncline. ويوجد الحجر الجيرى على هيئة أشكال عديدة، فقد يكون من الجريت gritty، ويسمى باسم محتواه الحفرى: مثل جريت ترايجونيا Trigonia Grit، وجريت كليبوس Clypeus مثلا، وأحيانا يسمى الجريت البازلائى لاحتوائه على درنات سرئية فى حجم حبات البازلاء. وتوجد الرواسب الدلتاوية حول حافة اليابسة.

• الجوراسي العلوي Upper Jurassic

بدأ الجوراسي العلوى بصخور الحجر الجيرى والحجر الرملى الغليظ التحبب، المسمى كورنبراش Cornbrash. وسرعان ما أصبح البحر طينيا وترسب الصلصال بشخانات هائلة فيما يعرف بصلصال أكسفورد (يستعمل أساسا فى صناعة الطوب) وصلصال كمبردج. وكانت الفترة الزمنية ما بين ترسيب صلصال أكسفورد وصلصال كمبردج تدل على ظروف بحرية واضحة، حيث ترسبت الأحجار الجيرية السرئية بصورة أكثر من قبل، وكذلك الحجر الجيرى المرجانى coral limestone وتسمى هذه الطبقات باسم الكورالى The Corallian. وعندما تراجع البحر جنوبا، أصبحت الأجزاء الجنوبية من إنجلترا مناطق غابات مستنقعية swampy forests، تضم نباتات وأشجار تختلف عن تلك التى سادت فى العصر الكربونى. وخلفت الزواحف الضخمة التى تكاثرت فى المستنقعات آثار أقدامها فى الطين.

ويمكن ملاحظة آخر نشاط بحرى فى طبقات بورتلاند Portland Beds التى تضم طبقات الحجر الجيرى السرئى والحجر الرملى. أمّا آخر الطبقات والمسماة طبقات بوربك Purbeck فهى أحجار جيرية ترسبت فى لاجونات من المياه العذبة fresh water lagoons وهنا نجد غابات متحفرة بالقرب من لالويرث Lulworth وتربة متحفرة fossillized soils أيضا.

وفى الدور الجوراسى توافرت وتنوعت الفُلُورة والفونة، وساعد على ذلك المناخ المعتدل اللاتباين والبحار فوق القارية epicontinentel seas.

وفى الدور الجوراسى، تنوعت وازدهرت النباتات السيكادية cycads، لدرجة أن الدور الجوراسى يسمى أحيانا «عصر السيكاديات» وكانت الغابات فى هذا الدور تشمل السرخسيات ferns، والسيكاديات cycads والجنكة ginkgas والأسل (السّمار) rushes؛ وهو نوع من النباتات له أوراق اسطوانية طويلة وكذلك الصنوبريات conifers.

وصارت اللافقاريات وفيرة بشكل ملحوظ فى الدور الجوراسى، وقد كونت المراجين البانية للشعاب والمراجين المسطحة tabulate آخر شعاب لها فى البحار الدافئة وحول اللاجونات.

وازدهرت رناثقيات الخياشيم (المحاريات) فى المياه البحرية والمياه العذبة. وتنوعت القنفذانيات، وكذلك البطنقدميات والفوراميتيفرا والجماعيات (الحزازانيات) التى كثرت فى البحار.

لكن الجدير بالذكر هو ما حدث مع الرأسقدميات؛ (الأمونيتات ammonites والبلمنيتات belemnites)؛ فالنسبة للأمونيتات، حدثت لها تغيرات سريعة، وأدى التعقيد الذى طرأ على خط الدرز suture line ونُظُمه إلى استخدامها فى تقسيم صخور الجوراسى إلى نطق zones وعندما يحدث الجزر يمكن رؤية حفريات الأمونيتات وهى تلمع تحت الشمس على الشاطئ الطفلى عند وايتباى Whitby بمقاطعة يوركشير، ويعزى اللمعان إلى عملية استبدال مادتها بمعدن البيريت pyrite الذهبى اللون. ويمكن رؤية البلمنيتات belemnites التى تشبه الأقلام مع الأمونيتات.

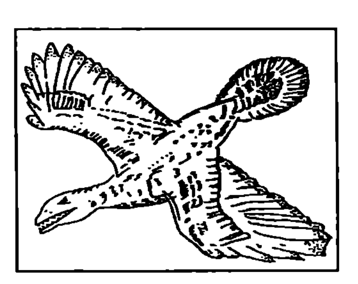
أما من المفصليات arthopods والتى كانت تمثلها فى الماضى الترايلوبيتات، فقد صارت تمثلها الآن الربيانات (الجمبرى) shrimps والسرطانات crabs. أما البر فقد غزته الحلزونيات (القواقع) snails بالإضافة إلى أعداد كبيرة من الحشرات.

أما الزواحف - وبتحديد أكثر الدينوصورات - فقد كانت لها السيادة على كل الحيوانات الفقارية. وقد تزايدت أعداد الأسماك وكان أغلبها أسماكا عظمية بدائية أو قروشا. ولم تكن البرمائيات وفيرة الأعداد كما كان الحال بالنسبة لها فى الدورين البرمى والترياسى. وقد عوض غيابها أعدادا هائلة من الزواحف فى ذلك الزمان.

وكانت الدينوصورات آكلات النباتات ذوات الأربع مثل بروتنتو زوراس *Brontosaurs* ودبلودوكس *Diplodocus* لها السيادة على البر، ويبلغ طول الواحد منها ٩٠ قدما، ووصل وزن الفرد منها عشرات الأطنان. كذلك سادت آكلات اللحوم من الدينوصورات مثل اللّوصور *Allosaurus* وهو دينوصور ذو قدمين فقط يبلغ طوله ٣٥ قدما. وقد كان الدينوصور المسمى ستيجوصور *Stegosaurus*، من الدينوصورات المدرعة، وكان من زواحف الجوراسى المميزة. وفى الدور الجوراسى ظهر أول الزواحف الطائرة المعروف باسم بتيروصورز *Pterosaurus*؛ وكانت هذه

الزواحف تتميز بعظام خاوية hollow bones وأجسام صغيرة وخفيفة. أما الزاحف الطائر رامفورينكس *Rhamphorhyncus* فقد كان له ذنب طويل وأسنان حادة وجناحان طول امتدادهما يبلغ قدمين؛ وكان يعد من أشكال الجوراسى المميزة.

وكانت الزواحف البحرية مثل الإكثيوصور Ichthysaurs والبليسيوصور Plesiosaurs لا تزال شائعة ومنتشرة فى بحار الجوراسى. وخلال هذا الدور أيضا ظهر أول طائر بدائى وهو أركيوبتيركس *Archaeopteryx*، ويعد ظهور هذا الطائر من الأحداث المهمة التى تميز الجوراسى. ولقد عرف هذا الطائر من بقاياه التى عثر عليها فى محاجر الحجر الجيرى فى بافاريا Bavaria، وكانت هذه البقايا هى ريشة واحدة وهيكلين وبقايا مهشمة من هيكل طائر ثالث. وكان الأركيوبتيركس لا يزال يحتفظ بصفات الزواحف، مثل الأسنان والمخالب التى بأطراف أجنحته (شكل ١٥٢) وعلى أى حال فإن الريش يجعله بالتأكيد من الطيور.



شكل (١٥٢)

اركيوبتيركس *Archaeopteryx*، طائر من الجوراسى

وهناك حفريات لثدييات مؤكلة وجدت فى صخور الجوراسى؛ فقد وجدت بقايا مهشمة لحيوانات كانت فى حجم الفأر الكبير، وتدل بنية أسنانها، على أن بعضها كان من آكلات الأعشاب، بينما يبدو البعض الآخر أنه كان من آكلات اللحوم.

١٢- الدور الطباشيرى The Cretaceous Period

يتميز الدور الطباشيرى الذى دام لفترة ٧٠ مليون سنة تقريبا برواسب سميكة من الحجر الجيرى الطباشيرى الأبيض اللون ٠ وفى الواقع، فإن كلمة Cretaceous، اشتقت من كلمة *Creta* اللاتينية؛ وهى تعنى طباشير٠ وقد درست صخور الطباشيرى لأول مرة فى الجروف البيضاء لدوفر Dover بجنوب إنجلترا.

وقد أدت عمليات التحات والتسهيب للحنائر المركبة إلى ظهور تتابع من الصلصالclays والأحجار الرملية الحديدية أسفل الطباشير. وقد توضعت الطبقات السفلية، (طبقات هاستنجس Hastings، وصلصال ويلد Weald Clays) فى ظروف مماثلة لتلك التى كانت سائدة فى نهاية الدور الجوراسى.

ويوجد هناك لا توافق بسيط slight unconformity بين الدورين الجوراسى والطباشيرى وذلك نتيجة لعمليات الإمالة tilting للطبقات ثم عملية تقهقر البحر بعد ذلك.

وقد ساعدت أراضى المستقعات الدلتاوية deltaic swamplands على ازدهار الحياة النباتية واستمرار وجود الزواحف٠ وقرب نهاية الطباشيرى السفلى Lower Cretaceous، بدأ البحر فى إثبات وجوده مرة أخرى بترسب أنساق من الصلصال والرمل الأخضر السفلى Lower Greensand. وتوجد مكاشف طبقات الرمل الأخضر السفلى فى الحفر الرملية فى المنطقة المسماة بالويلد، حيث يشاهد على هيئة رمال برتقالية اللون ضاربة إلى اللون البنى. ويعزى وجود هذا اللون إلى وجود هدروكسيد الحديد (الليمونيت) الناتج عن عملية تجوية معدن الجلوكونيت glauconite. ويدل وجود معدن الجلوكونيت فى رواسب الحجر الرملى، على أنها رواسب بحرية.

وفى الوقت نفسه، فى يوركشير Yorkshire، امتد ذراع من البحر الأوربى، ليغزو اليابسة جالبا معه فونة مختلفة تماما عن تلك الموجودة فى طبقات الويلد Weald bedsوالتى لها نفس العمر الجيولوجى ٠وهنا نجد أن سافلة الطبقات lowest beds، هى الصلصال الأزرق المعروف باسم صلصال سيتون الأزرقblue Speaton Clays، والذى يرتكز على صلصال كيمردج Kimeridge Clay (هنا لا

توجد طبقات البورتلاند Portland والبوربكيان Purbeckian من العصر الجوراسي) . وتدريجيا امتد البحر وتقدم في اتجاه الجنوب وأدى ذلك إلى ترسيب الطباشير الأحمر red chalk.

وفي الوقت الحالي، يعتقد معظم الجيولوجيين أن الطباشيري العلوي يبدأ بالصلصال الأزرق اللزج المعروف باسم. صلصال جولت الأزرق اللزج sticky blue Gault Clay الغني بحفريات الأمونيتات . وقد ترسب مزيد من الرمال الخضراء والمارل، حينما غزا البحر جنوب إنجلترا، ثم ترسب الطباشير الفريد بعد ذلك، وأخيرا اتصلت المنطقتان إحداهما بالأخرى . وقد ثار جدل كبير - ولا يزال - حول ظروف ترسيب الطباشير. ويقدر معدل ترسيب طبقاته بحوالي قدم واحدة كل ٣٠٠٠٠ سنة، ويرتبط هذا المعدل بتكوين الأرداغ oozes في البحار العميقة، ولكن من المحتمل أن يكون الطباشير قد تكون في بحار ضحلة (قنافذ البحر echinoids والأمونيتات ammonites والزنابق البحرية crinoids وغيرها من الفونة، وكلها مخلوقات تعيش في البيئة البحرية الضحلة). ومن المحتمل أيضا، أن الظروف كانت قاحلة وأن الأنهار كانت قليلة جدا، لذلك فإن المواد التي كانت محمولة في الماء لم تلوّث البحار، ومن هنا أمكن للحجر الجيري الطباشيري أن يصل إلى هذا السمك. وقد وجد أن الطباشير العلوي Upper Chalk يحتوى على كثير من الصوان الشريطي banded flints وهو مواد سليكية.

ويتميز الدور الطباشيري بمناخ معتدل، ويبدو أنه كان أقل حرارة إلى حد ما عنه في الدور الجوراسي. وقد استدل على ذلك من الحفريات؛ فقد أصبحت المراجين أكثر ندرة في بريطانيا، وتؤيد طبيعة الرسوبيات أيضا هذا الاستنتاج؛ وبالإضافة إلى ذلك، هناك أدلة على حدوث ثالج في الطباشيري المبكر في أستراليا.

وبالنسبة إلى الحياة النباتية في الطباشيري المبكر، فقد تكونت السيكاديات cycads والصنوبريات conifers والرخسيات ferns والتي كانت تشبه نباتات الجوراسي إلى حد كبير . وظهرت النباتات الزهرية flowering plants في منتصف الدور الطباشيري، وبنهاية الدور الطباشيري أصبحت الحياة النباتية مشابهة للنباتات التي توجد اليوم.

وكـانت بحـار الطباشـيـرى الدافـئة الضـحلة عـامـرة بأنواع مـتعـددة من اللافقـاريات، كما كان الحـال فى فترات حقب الحـياة المتوسطة السـابقـة. وكانت الرخويات هى أكثر الأنواع شـيوعا . وقد أسهمت الفورامـيـنيفرا (المنخربات) ذات الأصداف الجيرية فى تكوين الطباشـير إلى حد كبير، وتـستخدم كـحفريات مرشدة مفيدة فى دراسـة الصخور الطباشيرية. وتـسـتخدم حفريات micraster القنفذانية، والبلمنيـتات belemnites والزنابق البـحرية crinoids فى دراسة صـخور العـصر الطباشيرى وتقـسيمها إلى نطق zones كذلك تتميز صخور الطباشيرى بأعداد كبيرة من رقائقـيات الخـياشـيم (للمحاريات lamellibranchia والبطنقـدميات (الـقواقع) gastropods والرأسـقدميات cephalopods (وبخاصـة الأمونيتات ammonites التى كانت موجودة بأعداد وافرة ومتنوعات كبيرة).

ولقد كانت الجلد شوكيات echinoderms ممثلة بقنافذ البحر sea - urchins، والقنفذانيـات القلبية heart - urchins، وإلى حد أقل، كانت تمثل الجلد شـوكيات بالأسـماك النجمية starfishes والنجوم الهشة brittle stars.

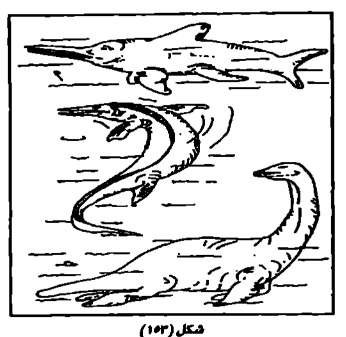
وكـانت الدينوصـورات أكثـر الفـقاريات شـيـوعـا، لكن باقى الزواحـف والأسـمـاك والطيـور والثدييات البدائـية كانت وافرة بدرجـة كبيرة أيضـا . وكانت الأسـماك متشابهة إلى حد كبير مع الأسـماك الحالية، واستدل على ذلك من بقاياها المتحفرة. وكـانت الطيـور أكثر تميزا وأكثـر انتشـارا مما كانت عليـه فى الأدوار الجـيولوجيـة السـابقـة، قد تركت سـجلا حـفريا مـهمـا . أهمه هـسـيـرورنيس *Hesperornis*، وهو طائر كبـير لكنه لا يطير. وكـانت ثدييات الدور الطباشـيرى صغيـرة وتشـبـه حيـوان الزّبابة shrew الحالى (حـيوان من آكلات الحشرات يـشـبـه الفأر)، أو القنفذ الحالى hedgehog.

واستمرت الزواحف فى السيادة على البـر وفى البحر والجو، وتطورت منها أشكال أكثر عـجبا من ذى قبل. وكـانت الأرنيثوبودات Ornithopods ممثلة جيـدا بأجنـاس مثـل تراكودون *Trachodon* (يعرف أيضا باسم أناتوصـور *Anatosaurs*، وكذلك دينوصورات لهـا مناقير تشبه مناقير البط. وكانت الأنكيلوصورات المدرعة armoured ankylosaurus آكلة العشب التى عاشت خلال زمن الطباشـيرى فقط؛ ويعد حـيوان الأنكيلوصـور مثالا لهـذه المجمـوعة. وكانت هناك مـجمـوعة من

الدينوصورات الأكثر تميزا وهى نوع من الدينوصورات المقرنة horned dinasaurs، وأكبر أنواع هذه المجموعة هو ترايسيراتوبس *Triceratops*، وكان من أكلة النباتات ومن ذوات الأربع، وكان ثقيل الوزن جدا، ويبلغ طوله ٣٠ قدما. وكانت جمجمته ذات الثمانى أقدام فى الطول لها درع عظمى ثقيل يحمى العنق من الخلف، وكان الحيوان يتميز بمنقار يشبه منقار الببغاء.

وكان أكبر الدينوصورات آكلة اللحم هو التيراتوصور *Tyrannosaurs*، و كان ارتفاعه يصل إلى ٢٠ قدما وهو واقف، وطوله يتردد بين ٤٠ و٥٠ قدما وكان وزنه يصل إلى أطنان كثيرة. وكانت رجلاه الأماميتان مختصرة فى الحجم جدا ومزودة بمخالب حادة لتصلح للإمساك بالفريسة بقوة. وكانت جمجمته الضخمة مدرعة ولها فكّان قويان وأسنان تشبه الخناجر، وقد يبلغ طول الفك الواحد منها ست بوصات.

واستمرت الزواحف الطائرة فى تطورها، فظهرت أنواع غير عادية جديدة فى الزمن الطباشيرى . وأحد الأنواع الهامة فى البتيروصورز Pterosaurs التى يجب الإشارة إليه هو بتيراندون *Pterandon*، وكان حيوانا خفيف الوزن، عظامه مفرغة hollow - boned، وكان جسمه نحيلا وطوله لا يزيد على قدمين إلا قليلا، لكن المسافة بين طرفى جناحيه الممدودين كانت تصل إلى أكثر من ٢٥ قدما. وكان ذيله قصيرا. ومؤخرة رأسه تتميز بأن الجمجمة تمتد على هيئة مثلث طويل. واحتوت بحار الطباشيرى أنواعا نادرة من الزواحف البحرية مثل الإكثيوصورات Ichthyosaurs والبلسيوصورات Plesiosaurs التى كانت لا تزال موجودة، والتى لحقت بها الموزاصورات Mosasaurs، وهى نوع من الزواحف السابحة يشبه السحالى العملاقة (شكل ١٥٣) . هذه الكائنات العملاقة، التى كان يصل طول الفرد منها ٥٠ قدما، كان لها جسم يشبه السحلية lizard تماما وذيل مبطط وأسنان منحنية كبيرة وحادة . وكانت الأطراف الأربعة متحورة إلى زعانف. كذلك كانت هناك سلاحف البحر العملاقة Giant sea turtles وهى من المجموعات المهمة، وبعض منها مثل أركيلون *Archelon* بلغ طوله ١١ قدما، واثنتا عشرة قدما من طرف زعنفة إلى طرف الأخرى.



شكل (١٥٣)

زواحف سابحة من حقب الحياة المتوسطة

أ- إكثيصور *Ichthyosaur*.

ب- موسوصور *Mososaur*.

ج- بليسيوصور *Plesiosaur*.

لكن ما الذى حدث للدينوصورات؟ و لماذا انقرضت فجأة (بالمعنى الجيولوجى)؟ هذا السؤال ظل يحير علماء الجيولوجيا والبيولوجيا حقبة طويلة؛ إنها لم تنقرض بسبب عدم نجاحها، فقد عاشت لأكثر من ١٠٠ مليون سنة، وبلغت أشكالا وأحجاما ضخمة وأنواعا كثيرة وغزت بيئات مختلفة وعاشت وصمدت فيها. وهنا نسوق بعض الأفكار التى قدمت فى هذا الخصوص:

أ- المناخ والتغيرات الجغرافية التى حدثت فى الدور الطباشيرى كانت قاسية فلم تستطع الدينوصورات أن تتأقلم معها.

ب- كانت المجموعة فى عمر مرحلة الشيخوخة للسلالة، وكان زمانها قد ولى.

ج- انتشار وباء أو كارثة أبادتها (وهناك أدلة علمية قليلة تؤيد ذلك).

د- كانت الثـديات تتزايد أعدادها بـدرجة كبيـرة، وربما تـكون قد درجت على أكل بيض الديناصورات.

هـ- قد يكون التغـيير الذى طرأ على فلورة الطباشيـرى جعل الديناصورات لا تتقبل هذه النبـاتات؛ وباختفاء الديناصورات آكـلة النباتات، انقرضت الديناصورات آكلة اللحوم التى كانت تفترس الديناصورات آكلة الأعشاب وتعيش عليها.

ويعتقد علماء كثيرون أن الديناصورات انقرضت ليـس بسبب عامل واحد من العوامل التى سبق ذكرها، لكن بسبب عـوامل عديدة منها . ومع كل الاحتمالات القائمة، وحتى الآن فلا يوجد جواب حقيقى شاف لهذا السؤال المحير.

وربما يكون قد حدثت الجـرافـات قارية كثيرة فى نهاية الدور الطـباشيرى، أدت إلى انفصـال شمال أميركـا عن أوربا وانفصال أميـركا الجنوبية عن أفـريقيا. وأصبحت القـارة القطبيـة الجنوبيـة Antarctica وأستراليا وآسيا وحدات منفصلة. وغُمِرَت البحيرات الضخمـة والمستنقعـات المكونـة للفحم coal-forming swamps فى العصر الجوراسى ببحر شطر أسـتراليا إلى قـسمين. وتدهورت الظروف المناخية وبدأ العصر الجليدى فى تأثيره. وبالطبع فإن الانفصـالات البرية (انفصال كتلة برية عن أخرى) أثر على الفونة الموجودة، فأخذت النسانيس monkeys التـى تطورت، خطوطا مـخـتلفة فى العـالم القـديم والحـديث . وظلت بقـايا قليلة من زواحف الديناصورات حتى يومنـا هذا فى بعض الجزر. أما بعض الثدييات وحـيدة الثقب monotremes (مرتبـة دنيا من الثـديات لها مـخرج واحـد لأعضائهـا التناسليـة والبوليـة والهضـمية) وبعض أنواع الجـرابيات (مثـل الكنجارو) marsupials فقد صـمـدت محليا . كـذلك كان الحال مع بعض الـطيور الأرضيـة (التى لا تطير) flighless birds مثـل الإيمو emu (طائر أسترالى كالنعـامة، لكن حجمه أقل). وكانت الضفادع البرمائيـة فى أستراليا وأميركا الجنوبية متضـرّدة. أما ثعابين أستراليا فـتخـتلف عن باقى الثعـابين فى مناطق العـالم الأخرى وهى لا توجـد بالمرة فى نيوزيلندا. لكن هذه هى كل التطورات التى حدثت فى حقب الحياة الحديثة، وهذا هو الحقب الذى يجب أن ندرسه الآن.

١٤- حقب الحياة الحديثة (الكاينوزوى) The Cainozoic Era

استمر حقب الحياة الحديثة (الكاينوزوى)؛ والذى ينطق غالبا السينوزوى Cenozoic، حوالى ٦٣ مليون سنة. وهو عمر قصير نسبيا إذا ما قورن بالأحقاب التى سبقته. وتعنى كلمة «كاينوزوى» الحياة الحديثة recent life، وسمى الحقب كذلك بسبب الكم الهائل والمتنوع من النباتات والحيوانات التى تطورت خلاله.

١٥- الدور الثالث The Tertiary Period

دام الدور الثالث لمدة ٦٢ مليون سنة تقريبا، واشتق اسم الدور الثالث من تقسيم قديم للصخور، غير مستخدم حاليا. وينقسم الدور الثالث إلى خمسة عصور محددة جيدا، موضحة فيما يلى من الأقدم (فى أسفل العمود) إلى الأحدث وموضح أمام كل منها معناه الحرفى:

البليوسين	Pliocene	الأحدث على الإطلاق	more recent
الميوسين	Miocene	الأقل حداثة	less recent
الأوليجوسين	Oligocene	الحديث بقلة	little recent
الإيوسين	Eocene	فجر الحديث	dawn recent
الباليوسين	Paleocene	الحديث العتيق	ancient recent

ولم يثبت وجود عصر الباليوسين Paleocene بوضوح فى بريطانيا. وتمثل صخور الإيوسين أقدم صخور الدور الثالث حيث تنكشف فى حوضين كبيرين فى جنوب إنجلترا وهما حوض لندن London Basin وحوض هامبشاير Basin Hampshire، وبالرغم من التشابه الكبير بين الحوضين، الا أنه توجد فروق بين الطبقات التى لها العمر نفسه فى كل منهما. وتنتشر طبقات الصلصال والأحجار الرملية وتوجد بها طبقات من اللجنيت lignite. وتنكشف طبقات الإيوسين بطريقة نموذجية فى جروف «خليج الجرف الأبيض White Cliff Bay» فى جزيرة ويت Isle of Wigt. ومن الواضح أنه سادت دورة cycle من الظروف القارية والمستويات البحرية المتبادلة. ومع انقراض الزواحف العملاقة،

اختفت أيضـا الأمونيتات ammonites والبلمينيتات belemnites وحدثت تغيرات هائلة؛ فمثـلا التطور الذى حدث على الحشائش شجع على وجـود الثلييات ذات الحوافر hoofed mammals ونظرا لوجود التشابه الواضح بين الكائنات الحية للدور الثالث Tertiary والدور الرابع Quaternary فسـوف نناقش أشكال الحيـاة لهذين الدورين معا فى نهاية هذا الفصل.

فى الوقت نفسـه تعرضت اسكتلندا إلى نشـاط بركانى واسع الانتشار، كوّن حزاما بركانيا امتـد عبر أيرلندا حتى وصل إلى أيسلندا. ويمكن رؤية هذه الطفوح البـركـانيـة فى جيـانتـس كـوزواى Giant's Causeway ومـغـارة فنجـال Cave Fingal's. كذلك فهناك أدلة كثيرة تدل على النشاط النارى تتمثل فى حشود الجدد القاطعة والجدد الكتلية المتوازية التى تمتد فى اتجاه شرق - غرب.

• الأوليجوسين Oligocene

يوجد فى بريطانيا فى حوض هامبشاير فقط Hampshire Basin مع صلصال وأحجار جيرية تحتـوى على مراجين تشتمل على Madepora وهـو مـن المراجيـن السداسيـة Hexacoral (Scleractina). وكثير من هذه الطبـقات ليسـت بحرية، إذ إنها ترسـبت فى بيئة مائية مسوس brackish ومياه عذبة كذلك.

ويشيع وجود مـحاريات المياه العذبـة (بـلح البحر) mussels، وكذلك بقايا الطيور والثدييات والزواحف.

ولا توجـد صخـور للمـيوسـين Miocene فى بريطانيا، وتقـابل هذه الفترة الحـركة الأوروجـينيـة الألبيـة Alpine Orogenyالتى كـوّنت جبـال الألب Alps والهيمالايا Himalayas وجبال البيرنيس Pyrenees وبعض الجبال فى أمريكا.

وكانت بـريطانيا على حـواف المنطقـة الـتى تأثرت بهـذه الحركـة، ونتيـجة ذلك كان الطى اللطيـف الممتد فى الاتجاه شـرق- غرب (تموجات فـحسـب mere ripples) مثل قبة ويلد Weald Dome والصدوع التى ترتبط بها.

• البليوسين Pliocene

بالرغم من الصخور البلاطية التى كونها البليوسين فى شرق انجليا East Anglia، فقد كانت هذه الفترة أكثر أهمية كفترة تحات. وقد كان التسهيب peneplanation هو "النظام اليومى Order of the day". وكانت تحدث دورة التسهيب بواسطة عمليات التحات التى تعترضها الأنهار القاطعة للوديان مكونة أشكالا برية تلالية. ويمكن مشاهدة آثار عملية التحات اللاحقة عند مستويات مختلفة.

١٦-الدور الرابع The Quaternary Period

ترجع تسمية الدور الرابع بهذا الاسم إلى تقسيم قديم للصخور، وهو تقسيم غير مستخدم الآن، كما هو الحال فى تسمية الدور الثالث ·وقد استمر الدور الرابع لفترة قصيرة نسبيا (حوالى مليون سنة) · وينقسم الدور الرابع إلى عصر البليستوسين Pleistocene والعصر الحديث Recent. ويعرف عصر البليستوسين بأنه عصر الجليد العظيم Great Ice Age، ويتميز بأربع فترات ثلجية عظمى، تتخللها ثلاث فترات دافئة حدث خلالها انصهار للجليد. وقد تسبب الشرشف الجليدى العظيم Great Ice Sheet فى شمال أوربا وسيبيريا وأمريكا الشمالية فى برودة المناخ، الأمر الذى ساعد على انقراض الكثير من النباتات والحيوانات التى كانت تعيش فى الدور الثالث.

وانتشرت هذه المثالج العظمى حتى وصلت جنوبا إلى خط يصل نهر التيمز Thames بمصبات السيفرن Severn estuaries.

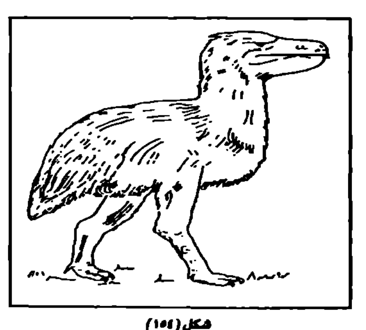
وكانت لهذه الكتل الجليدية الكبرى تأثيرات ملحوظة فى الأرض، وكانت هى المسئولة عن تذبذب مستوى البحر، وهبوط الأرض، وكذلك التغير الملموس فى نظم صرف الأنهار· وتسببت المثالج فى إزالة أطنان لا حصر لها من التربة، وأدت إلى تغير فى سطح الأساس الصخرى. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الثلج الذى حدث فى عصر البليستوسين كان هو السبب فى تكوّن أعداد هائلة من البحيرات والبحيرات الجبلية الصغيرة. ومن الجدير بالذكر أن الحد الفاصل بين البليوسين والبليستوسين ليس محددا indefinite. لكن فونة الصخور البلاطية

ذات بيئة المياة العذبة والتى كانت لا تزال تترسب، تغيرت من أنماط البحار الدافئة إلى تلك المرتبطة بالمناخ القطبى عندما سادت الظروف الأكثر برودة (وقد سبقت الإشارة إلى شواهد أثر الثالج فى الفصل الثامن). ومما يجب ذكره أن الكثير من ملامح سطح الأرض فى شمال إنجلترا وويلز واسكتلندا قد تحدد خلال هذه الفترة الزمنية.

وبالرغم من أن الحد الفاصل boundary بين البليستوسين والعصر الحديث ليس مؤكدا بالضبط، لكنه يعتبر عادة على أنه الفترة الزمنية التى تراجع عندها آخر شرشف جليدى عن أوربا وأمريكا الشمالية، وكان ذلك منذ ١٢ ألف- ١٥ ألف سنة مضت. وكانت الحياة فى حقب الحياة الحديثة تتميز منذ فجر بدايتها بنباتات وحيوانات تشبه كثيرا فى نواحي متعددة مثيلاتها الحالية. وزادت أهمية الثدييات إلى درجة كبيرة، حتى إنها كانت فى طريقها كى تحكم الأرض. وكانت النباتات حديثة فى مظهرها. وساعدت الغابات الخشبية والسهول العشبية على تشكيل ظروف بيئية مناسبة لانتشار الثدييات.

وبالنسبة إلى الفونة اللافقارية، فبالرغم من أنها كانت متشابهة مع أسلافها فى الطباشيرى، ألا أنها كانت تبدو أحدث فى سماتها. وكانت الفورامينيفرا (المنخربات) موجودة بأعداد هائلة، وهى تستخدم حفريات مرشدة مفيدة لدراسة الدور الثالث؛ وبخاصة عند الجيولوجيين العاملين فى مجال البترول. كذلك كانت المراجين corals والبريوزوا (الجماعيات) bryozoans والجلد شوكيات echinoderms (وبخاصة قنافذ البحر echinoids)، والمفصليات arthopods، شائعة (أصبحت المراجين أكثر ندرة، لكنها لا تزال موجودة فى مياه بريطانيا حتى اليوم). ولكن قلت أعداد المسرجانيات brachiopods التى كانت شائعة ومنتشرة فى حقب الحياة القديمة المبكر، ثم نقصت أعدادها وأنواعها بالتدريج. وظلت الرخويات molluscs هى أكثر اللافقاريات البحرية انتشارا. وبالنسبة إلى الأمونيدات ammonoids التى كانت شائعة فى حقب الحياة المتوسطة، فقد حل مكانها أعداد متنوعة وغير مسبوقة من رقائقيات الخياشيم (المحاريات) والبطنقدميات (القوقعيات). وكثير من هذه الأشكال كانت تشبه كثيرا الأويستر oysters والقواقع snails التى نشاهدها اليوم.

أما الحيوانات الفقارية في الدور الثالث فهي معروفة جيدا، فهناك بقايا متحجرة للأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور وعلى وجه الخصوص الثدييات. وكانت الأسماك مزدهرة، وكانت تشتمل على كثير من الأسماك العظمية وأعداد هائلة من أسماك القرش؛ التي كان يصل طول الواحد منها ما بين ٦٠ و ٨٠ قدما، وكانت لها أسنان يصل طول الواحد منها إلى ست بوصات. وكانت البرمائيات ممثلة بالسلمندر salamanders، وضفدع الطين toad والضفدع العادي frog. وتدهورت حشود الزواحف التي كانت زاهرة في حقب الحياة المتوسطة فاقتصرت على الثعابين والسحالي والتماسيح والسلاحف، التي كانت موجودة بنفس الأعداد التي توجد بها أخلافها الآن. وكانت معظم الطيور في الدور الثالث متشابهة مع الطيور الحالية، ولكن ولسوء الحظ، ونظرا لأن أجسامها هشة، فإنها لا توجد غالبا على هيئة حفريات. ومن الأشياء المهمة في هذا الخصوص ما يسمى بالطيور العملاقة giant birds التي كانت توجد في عصور الدور الثالث، وبعض من هذه الكائنات الضخمة الشبيهة بالبجع، والتي كانت لا تطير، بلغ ارتفاع الواحدة منها عشرة أقدام ·وكانت تضع بيضة يصل طول الواحدة منها قدما واحدا، ومن هذه الأنواع دينورنيس *Dinornis* ودياتريما *Diatryma* (شكل ١٥٤)· وقد ذكرنا سابقا انفصال أجزاء مختلفة من العالم،

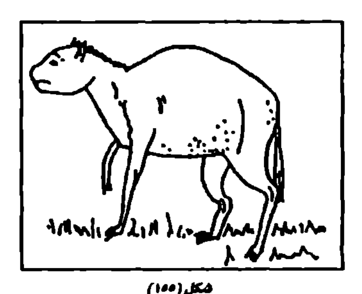


شكل (١٥٤)

دياتريما *Diatryma* طائر من الإيوسين (لا يطير)

طوله حوالي سبعة أقدام

تشمل أستراليا، وما نتج عن ذلك من توزيع الزواحف والثدييات وحيتة الملك والجرابيات والطيور التي لا تطير . وكانت الظروف المناخية في أستراليا تختلف تماما عن المناطق الأخرى في نصف الكرة الشمالي. إذ أتى العصر الجليدي تدريجيا في الدور الطباشيري، وحدثت آخر موجة جليدية في بداية عصر البليستوسين عندما بدأت أوربا تقاسي من الغزو الجليدي. وبعد ذلك أصبح المنظر قاحلا نظرا لما صاحب ذلك من عمليات التحات الريحي، فجفت البحيرات المالحة وزادت شدة القحولة (يستثنى من ذلك قمم نيوزيلندا الجليدية والغابات الضبابية في غينيا الجديدة). وأصبحت الأرض مكتظة بالكثبان الرملية والعشب الغليظ والأشجار القصيرة، وذلك فيما عدا أراضي الغابات حول بيرث Perth وما بها من أشجار الكافور eucalyptus. وكان أعظم تطور في الدور الثالث هو ما حدث للثدييات؛ فكانت ثدييات عصر الباليوسين صغيرة وبدائية وتختلف كثيرا عن الثدييات الحالية. وكانت أشكال الثدييات في عصر الإيوسين أكبر حجما، وضمت أول ما ظهر من القوارض rodents والجمال Camels والكركدن rhinoceroses وكذلك hyracotherium، وهو ما يسمى بالحصان الأول "dawn horse" (انظر شكل ١٥٥) الذي ظهر لأول مرة خلال عصر الإيوسين. كذلك ظهرت لأول مرة في هذا العصر الكريودونتات creodonts وهي أسلاف آكلات اللحوم . وفي خلال عصر الأوليجوسين، اتخذت الثدييات مظهرا أكثر تطورا، واشتملت النماذج



شكل (١٥٥)

حصان من الإيوسين في حجم الثعلب

Hyracotherium (Eohippus)

المتطورة على الكلاب والقطط والجمال والأحصنة والكركدن والخنازير والأرانب والسنجاب، وكذلك الأفيال الصغيرة في أفريقيا.

كذلك عاشت خلال عصرى الإيوسين والأوليجوسين ثدييات غريبة تختلف تماما عن الثدييات الحالية ·وكانت تشتمل على الدينوسيراتا *Dinocerata* أو ونتاثيراس Uintatheras وهو وحش ضخم يشبه الكركدن وكان يصل ارتفاعه وهو جالس سبعة أقدام عند كتفه. كذلك ظهرت التيتانوثيرات Titanotheres (مجموعة من ثدييات حقب الحياة الحديثة المبكر) وقد ظهرت أولا في عصر الإيوسين، وكانت في حجم الخراف، لكنها بلغت أحجاما عملاقة بحلول منتصف عصر الأوليجوسين.

وفي خلال عصر الميوسين، تنوعت الثدييات كثيرا وازدهرت، حتى إنه أطلق على عصر الميوسين «العصر الذهبي للثدييات». ويرجع هذا التطور السريع للثدييات في معظمه إلى انتشار الحشائش التي فرشت سهول الميوسين والبراري ·

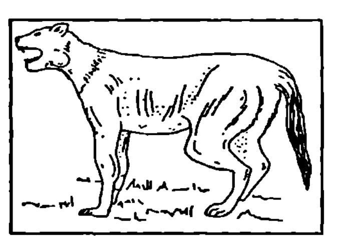
وكان من أهم الثدييات المشهورة في تلك الفترة والتي عاشت في أنحاء كثيرة من العالم هي الأحصنة، والجمال، والغزلان، والخنازير، والكركدن. كذلك كان عصر البليستوسين له نصيب من الثدييات الغريبة التي انقرضت في العصر الحديث ·ومن هذه الثدييات التي يجب ذكرها، الكركدن العملاق عديم القرون والمسمى بالوخيثيريوم *Baluchitherium* ·وكان هذا الوحش هو أكبر وأضخم أنواع الثدييات في تلك الفترة؛ فقد بلغ طوله ٣٠ قدما وطوله وهو جالس حتى كتفيه ١٨ قدما ·وقد ظهر هذا الحيوان لأول مرة في عصر الأوليجوسين ثم انقرض خلال عصر الميوسين.

ويبدو أن هذه الحيوانات الضخمة كانت موجودة في آسيا فقط، حيث إنه لم يعثر على بقايا لها في أي مكان آخر.

ويعد الخنزير العملاق giant pig من الثدييات المهمة التي تميز عصرى الأوليجوسين والميوسين، وكانت تسمى الأنتيلودونتات entelodont وقد بلغ طول هذا الحيوان ستة أقدام حتى كتفيه.

وقد تطورت ثدييات البليوسين أكثر من ثدييات عصور الدور الثالث، ففى خلال أزمنة البليوسين والبليستوسين شاع انتشار الحيوان الأرضى الضخم المسمى الكسلان giant ground sloth، ومنه جنس ميلودون *Mylodon* وقد بلغ طول الفرد منه ١٥ قدما وكان يزن آلاف الأرطال. كذلك ظهرت فى أميركا الثدييات ذات الأسنان المزخرفة glyptodonts وهى أقرباء بعيدة للثدييات المدرعة armadillos وخلال عصر البليستوسين، حدث تطور ملموس للثدييات الخرطومية proboscideans (الأفيال وعشائرها).

وكان الماستودون mastodon والماموث mammoth ذو الفرو كلاهما شائعا بكثرة فى أميركا الشمالية وسيبريا، حيث حفظت جثثهما فى الجليد. وقد ثبت أن هذين الثديين عاشا فى الجزر البريطانية. وقد استدل على وجود الكركدن ذى الصوف wolly rhinoceros من بقاياه التى عثر عليها فى أميركا ومن رواسب الزفت (القار) pitch فى بولندا Poland. وكانت آكلات اللحوم ممثلة بالسميلودون *Smilodon*، والنمر ذى الأسنان السيفية sabre - toothed وكذلك نوع *Canis dirus* أو الذئب الرهيب Dire Wolf (شكل ١٥٦) وكان حيوان سميلودون *Smilodon* فى حجم الأسد وله فكوك قوية وكانت له أسنان متطورة للغاية، والفك العلوى كانت أنيابه تشبه الخناجر.



شكل (١٥٦)
الذئب الرهيب *Canis dirus*

وربما يكون أهم حدث فى البليستوسين هو ظهور أول إنسان، وسوف يكون الفصل القادم مخصصا لتطور الإنسان البدائى والتاريخ الجيولوجى للإنسان.

الفصل التاسع عشر

التاريخ الجيولوجى للإنسان

THE GEOLOGIC HISTORY OF MAN

ظهر الإنسان كوافد جديد على مسرح الأحداث الجيولوجية منذ ٦٠٠ ألف عام تقريبا خلال عصر البليستوسين Pleistoceneأو العصر الجليدى العظيم Great Ice Age.

ينتمى الإنسان إلى رتبة الرئيسيات Primates، وهى رتبة من الثدييات تتميز بمخ متطور جدا وبأطراف طويلة وأظافر كاسية أو مفلطحة على أصابع مرنة. وتضم هذه الرتبة المتطورة أعضاء آخرين منها الليمورات lemurs، والتارسيرات tarsiers (نوع من القردة الصغيرة تسكن الاشجار)، والسناتيس monkeys، والقردة apes. وينتمى الإنسان والسناتيس والقردة إلى تحت رتبة suborder أنثروبويديا Anthropoidea. وتتميز هذه المجموعة بأمخاخ كبيرة وكذلك أعين كبيرة فى مقدمة الوجه.

والسجل الحفرى الذى نعرفه عن الرئيسيات Primates ليس كاملا - لسوء الحظ - كما يجب أن يكون وكما يريده الباليتولوجى، وبالرغم من ذلك، فمع النمو المتزايد لأبحاث الباليتولوجيا والأنثروبولوجيا، بدأ التاريخ الجيولوجى للإنسان يتضح شيئا فشيئا.

١-الرئيسيات الأولى The First Primates

عثر على بقايا ما اشتهر بأنه أقدم ممثل للرئيسيات فى صخور عصر الباليوسين بالولايات المتحدة الأميركية. وتمثل العظام التى وجدت حيوانا صغيرا،

يشبـه الليمور الـذى يعيش فى العصـر الحاضر. وهناك ليـمور بدائى آخـر يسـمى نورثاركتوس *Northarctus* عاش فى أمـيركا الشمـالية خلال الدور الثـالث، وقد وجـدت بقـاياه فى بعض تكاوين عـصـر الإيوسين فـى غرب الولايات المتحـدة الأميـركية. وكان لهذا الحيوان ذيل طويل ووجـه صغير، وكان يعيش فوق الأشجار ويشبه الليـمور الحالى -وعلى أى حال، فـإن ليمورات العصر الحاضر لا تعيش فى أميركا الشـمالية، ولكنها توجد فى مدغـشقر، وتوجد قلة منها تعيـش فى أفريقيا وفى أندونيـسيا ·أما التارسـير tarsier فهـو مخلـوق رقيق له أعين واسعة، وجـسمه فى حجم الفأر الكبير، وظهـر أيضا خلال عصر الإيوسـين Eocene. وتعيش هذه الحيوانات فى أدغال إندونيـسيا والفلبين، لكن سجلها الحفرى يدل على أنها عاشت فى أميركا الشمالية وأوربا خـلال زمن الإيوسين. وبالنسبة إلى القردة والنسـانيس، فقـد كان أول ظهورها فى زمن الأوليجـوسين المبكر . ولقـد جمـعـت بقايا أول نسـناس «بارابيثكس *Parapithecus*» من مصـر، وكذلك أقـدم قرد مـعروف وهو «بروبليوبثكس *Propliopithecus*». وعثر أيضا على بقـايا قرد آخر مهـم فى زمن الميوسـين فى أفريقـيا، وهذا القـرد يسـمى بروكـونـسول *Proconsul*، وله صفات تشريحـية مـعينة، توحى بأنه من أسـلاف الشمـبانزى Chimpanzee والغوريللا Gorilla والإنسـان Man.

٢-القردة الشبيهة بالإنسان The Manlike Apes

عثر علـى بقـايـا مجمـوعة من القردة التى تشـبه الإنسـان والمعـروفة باسم أوسـترا لوبيـثيكـيات Australopithecines أو القرود الجنوبيـة» فـى رواسـب كهوف البليـستـوسين فى جنوب أفـريقيـا. وكان أول قـرد من هذه المجمـوعة ويسـمى *Australopithecus africanus*، قد اكـتشف فى عام ١٩٢٥ وكـانت بقاياه تتكون من جمجمة غـير كاملة مثل جمجمة طفل عـمره خمـس سـنوات. وخصـائص هذه البقايا والكسـر الهيكليـة التى اكتشفت فيما بعد تشير بأن هناك عـلاقة بنيوية وثيقة بين هذا القرد والإنسـان الأول -وعلـى كل حال فإن العلماء لا يتفـقون تماما على الوضع التطورى لهذه المخلوقات البدائية. فبعض العلماء يعتقد أنهم كانوا أول بشـر عرف فـى التاريخ. بينمـا يعتـقد البـعض الآخر أن هذه المخلوقـات كانت نهـاية مجموعة من القردة التى تشـبه الإنسـان. وبالتالى فهى ليسـت أسلافا للإنسـان. وفيما

عدا قدرته العقلية الضئيلة، فقد كان هذا المخلوق؛ أسترالوبيثيكاس* مخلوقا متطورا نسبيا، فقد كانت له قامة منتصبة، ويمشى على قدمين، وكان يبلغ خمسة أقدام فى الطول؛ وكان يتميز برأس تشبه رأس القرد وبفكين قويين، وكانت أسنانه تشبه أسنان الإنسان.

٢- من إنسان ما قبل التاريخ إلى الإنسان الحديث

From Prehistoric to Modern Man

وجدت بقايا أول إنسان (أو ما يشبه الإنسان)، فى صخور من عصر البليستوسين المبكر فى أفريقيا. ولحق بهذا الإنسان المبكر تتابع من أشكال الإنسان فى البليستوسين المتوسط والمتأخر ولقد استدل على هذه الأشكال البشرية البدائية من بقايا هياكلها ومن الأدوات التى كانوا يستعملونها (مثل الأدوات البسيطة والأسلحة التى ترجع إلى ما قبل التاريخ، ولقد سميت بقايا الإنسان القديم بأسماء تنسب إلى الأماكن الجغرافية التى عثر على هذه البقايا فيها لأول مرة. وعلى هذا فإنسان بكين Peking Man (*Sinanthropus pekinensis*) يعنى رجل صينى عاش فى عصور ما قبل التاريخ بالقرب من بكين Peking فى الصين.

• إنسان شرق أفريقيا East Africa Man

وجدت بقايا أول كائن يعتقد أنه كان أول إنسان معروف فى صخور البليستوسين المبكر فى خانق أولدواى Oldoway Gorge فى تنزانيا بشرق أفريقيا. وهذه البقايا تتكون من فك سفلى وعظمتين لجمجمة، وعظام قدم وعظمة ترقوة وبعض عظام اليد. ويعتقد أن هذه البقايا كانت لطفل عمره بين أحد عشر عاما وإثنى عشر عاما. ووجدت مع هذه البقايا، عظام لشخص آخر يرجح أنها بقايا هيكل عظمى لشخص أكبر سنا.

وهذه العظام التى يقدر عمرها بأكثر من ٦٠٠ ألف سنة، هى أقدم عمرا من (زنجانثروبس بويسى *Zinjanthropus boisei* (المسمى بإنسان شرق أفريقيا) والتى اكتشفت بقاياه فى خانق أولدوفاى Olduvai Gorge عام ١٩٥٩. والجمجمة التى وجدت هى فى الأصل جمجمة لشاب فى الثامنة عشرة من عمره. ولقد

اكتشف كل هذه البقايا مجموعة حقلية برئاسة الدكتور لويس س·ب ليكى Louis S.B. Leakey والذى كان يعمل مديرا لمتحف كينيا القومى بمدينة نيروبى. ومع هذه الهياكل القديمة، وجد دكتور ليكى ومجموعته العلمية أشكالا مختلفة من الأدوات البدائية المصنوعة من الحصى pebbles وبقايا حيوانات بليستوسينية منقرضة.

أما ريتشارد Richard نجل الدكتور ليكى، فقد حول اهتمامه من أولدفاى Olduvai إلى بحيرة رودلف التى تقع فى المنطقة الصحراوية الشمالية من كينيا، حيث قام بوصف ١٠٠٠ ميل مربع من رواسب البحيرة، كمتحف طبيعى للحفريات. ولقد تم اكتشاف كرات هيكلية لنحو مئة فرد من ضمنها جمجمة تنازع عليها آراء العلماء وهى محفوظة فى المتحف القومى بكينيا فى شرق رودلف ورقمها بالمتحف «KNM - ER 1470» وكانت هذه الجمجمة قد اكتشفت فى شهر يوليو عام ١٩٧٢ .

هذا، وقد توالت الاكتشافات بعد ذلك فعثروا على بقايا اثنى عشر فردا من الجنس البشرى *Homo*، فى الطبقات نفسها التى بها «أوسترالوبثيكس»، مما يدل على أن الجنس البشرى لم ينحدر من سلسلة أوسترالوبثيكس، كما كان يعتقد ذلك الدكتور ليكى، والد ريتشارد. ولقد أدت هذه الاكتشافات إلى خلافات علمية، كما أنها حثت العلماء على إعادة النظر فى كثير من النظريات القائمة. وربما تؤدى الاكتشافات التى تأتى فيما بعد إلى العثور على أدلة مقنعة.

• إنسان جاوة القردى Java Ape Man

جمعت بقايا هذا المخلوق البدائى الشبيه بالإنسان فى عام ١٨٩١ بالقرب من قرية ترنيل فى جاوة. وإنسان جاوة هو الإنسان القردى المنتصب القامة الذى يطلق عليه رسميا اسم بيثيكانثروبوس إركتس *Pithecanthropus erectus*. ومن المرجح أن إنسان جاوة عاش منذ ٤٠٠ ألف سنة إلى ٥٠٠ ألف سنة. ولقد وجدت عظامه مع بقايا أفيال منقرضة من عصر البليستوسين وكذلك خراتيت وتابيرات tapirs منقرضة من عصر البليستوسين أيضا. وعند إعادة تركيب بقايا بثيكانثروبس *pithecanthropus* تبين أن طوله كان ٥,٥ قدم، وكانت له جمجمة

عريضة تشبه جمجمة القرد، وتتميز بجبهة منحدرة وأنف أفطس وفك بلا ذقن؛ لكن أسنانه مقاربة لأسنان البشر، وقدرته العقلية تفوق على متوسط القدرة العقلية للقرد البالغ (انظر شكل ١٥٧).

• إنسان بكين Peking Man

يطلق على هذا الإنسان اسم سيناثروباس بكينيز *Sinanthropus Pekinensis*، وقد استدل عليه من بقايا حفرية لنحو أربعين فردا منه كانوا يعيشون في وقت ما في منطقة بكين بالصين، وفيما عدا قدرته العقلية الكبيرة فإن إنسان بكين يشبه في كثير من صفاته الجسمانية إنسان جاوة ·ويرى بعض العلماء أن إنسان بكين يجب أن يعد من نفس الجنس الذى ينتمى إليه إنسان جاوة ·ولذلك فيجب أن يسمى پثكانثروبس بكينيز *Pithecamthropus pekinensis* بدلا من *sinanthropus pekinensis* ·وعلى أى حال فإن بعض علماء الأجناس (الأنثروبولوچيا)، يعتقدون أن إنسان بكين أكثر تطورا من إنسان جاوة ·حيث إنه كان يستخدم أدوات بدائية مصنوعة من الحجر، وكان يجيد استخدام النار والسيطرة عليها ·وهناك اتجاه قائم عند بعض علماء علم الحيوان، وهو أن يضعوا كل البقايا الحفرية للإنسان فى جنس واحد يسمى هومو *Homo*، (انظر فيما بعد). وعلى هذا الأساس فيجب أن يسمى إنسان جاوه باسم هوموإركتس *Homo erectus*، وإنسان بكين اسم *Homo erectus pekinensis* (تحت نوع من إنسان جاوة).

• إنسان هايدلبرج Heidelberg Man

تكون أقدم حفرية أوربية لإنسان وتسمى، هوموهايدلبرجنز *Homo heidelbergensis* من زوج من الفكوك السفلية وستة عشر سنا محفوظة حفظا جيدا، ويسمى هذا المخلوق إنسان هايدلبرج Heidelberg Man، وقد عثر على بقايا هذا الإنسان بالقرب من هايدلبرج فى جنوب ألمانيا، ومن المحتمل أن يكون هذا الإنسان قد عاش منذ ٤٥٠ ألف سنة تقريبا؛ وربما يكون هو الحلقة الوسطى بين الإنسان والقرود. ويرى بعض العلماء أن إنسان هايدلبرج، ربما يكون هو السلف الأقرب لإنسان نياندرثال Neanderthal Man (انظر فيما بعد).

• إنسان نياندرثال Neanderthal Man

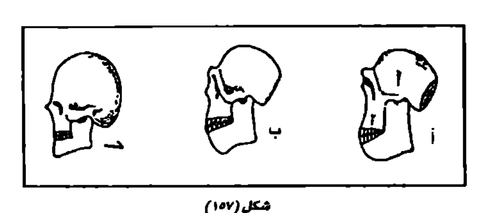
من المحتمل أن يكون أشهر إنسان حفرى هو إنسان نياندرثال الذى كان منتشرا انتشارا واسعا فى أوربا وآسيا خلال البليستوسين المتأخر . وقد عثر على أول بقايا لإنسان النياندرثال عام ١٨٥٦ فى منطقة نياندرثال (Neandertal)، وهو واد فى الشمال الغربى لألمانيا، لكن هذه البقايا لم يعترف بها كنوع بشرى محدد إلا فى عام ١٨٦٤ . ولقد ساعدت الأعداد الكبيرة للبقايا النياندرثالية على تزويد علماء الحفريات بصورة واضحة عن الخصائص الجسمانية لهذه المجموعة المبكرة. فكان الفرد الممثل لهذا النوع يبلغ طوله خمسة أقدام، وكان ذا كتفين منحنيتين، وركبتاه كانتا تميلان إلى الانحناء، مما يضفى على جسمه مظهرا مرتخيا. وكان رأسه كبيرا (مما يوحى بأن قدرته العقلية تقارب الطاقة العقلية للإنسان الحالى). وكان يتميز بأنف أفطس وذقن متراجعة وجبهة ضيقة وحيود حاجبية ثقيلة (شكل ١٥٧ ب).

ويبدو أن إنسان نياندرثال كان من سكان الكهوف، ومن ثم تسميته إنسان الكهف cave-man. وكان يصنع أدوات جيدة من الحجارة، كما أنه كان يجيد استخدام النار، وهناك ما يدل على أنه كان يدفن موتاه.

وبالرغم من أن إنسان بلتدون Piltdown Man، لم يعد له وضع علمى، إلا أنه تجب الإشارة إليه فى أية دراسة لحياة الإنسان فيما قبل التاريخ. فهذا الرجل الحفرى كان محورا لأعظم خديعة علمية وردت فى التاريخ؛ فبقاياه التى سميت علميا باسم إيونثروبس دوسونى *Eoanthropus dawsoni* جمعت من رواسب جرولية من البليستوسين بالقرب من بلتدون فى ساسكس Sussex بإنجلترا. وكانت الجمجمة بشرية بالتأكيد، لكن الفك السفلى والأسنان كانت تشبه تلك التى للقرود. وهذا الاختلاف الكبير بين الفك والجمجمة أثار شكوك العلماء، وكذلك الظروف التى وجدت فيها الجمجمة عند اكتشافها . وأخيرا وبعد أربعين عاما من البحث المكثف، ثبت أن حفرية بلتدون ما هى إلا جمجمة بشرية حديثة، كشط سطحها وصبغ بعناية وكان الفك السفلى لقرد من الأورانج أوتان orang - utan.

•الإنسان الحديث Modern Man

ظهر أول إنسان حديث (هو النوع الذى ننتمى إليه أنت وأنا) منذ ٣٥ ألف سنة. واسمه العلمى *Homo sapines* هوموسابينز. وسمى هذا الإنسان القديم باسم كرو-ماجنون Cro-Magnoon، ذلك لأن بقاياه كانت قد اكتشفت لأول مرة فى منطقة كرو-ماجنون الصخرية فى وادى دوردون Dordogone بفرنسا عام ١٨٦٨. ويوجد عدد كبير من الهياكل العظمية المحفوظة حفظا جيدا. وكان هذا الإنسان يتميز بقوة البنية وغلظ القسمات (كثير من الهياكل زاد طولها عن ستة أقدام)، وكان إنسان كروماجنون يمشى بقامة منتصبة وله جمجمة حديثة المظهر وذقن سوية النمو، وأنف مدبب وجبهة عالية (شكل ١٥٧ حـ) وكانت الأدوات التى يستخدمها هذا الإنسان مصنوعة بدقة من الحجارة والعظم وقرون الحيوانات. وكان يتمتع بمواهب فنية دلت عليها الرسومات التى وجدت على جدران الكهوف التى كان يسكنها، مما يثبت التطور العقلى المتفوق لذلك الإنسان.



شكل (١٥٧)

جماجم متحضرة لإنسان

أ- إنسان جاوا. ب- إنسان نياندرثال.

ج- إنسان كرومانجنون.

هكذا تطور الإنسان ووصل *Homo sapines* إلى بريطانيا. وكانت أقدم بقايا لهذا الإنسان الحديث قد عثر عليها فى سوانزكومب Swanscombe فى كنت Kent. وكان ذلك فى أثناء الفترة بين الثلجية interglacial الثانية. لكن الغزو الحقيقى لهذا الإنسان جاء بنهاية العصر الجليدى Ice Age. أما بقية قصة تطور الإنسان، فهى تنتمى إلى علم الأنثروبولوجيا وعلم الآثار والتاريخ.

الفصل العشرون

تكتونية الألواح

PLATE TECTONICS

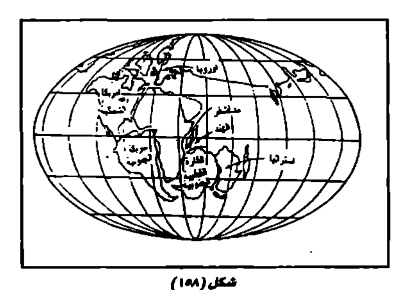
١-الانجراف القاري Continental Drift

كان لاكتشاف الغاز والزيت تحت مياه بحر الشمال أثر عظيم وأهمية اقتصادية قصوى، لدرجة أن هذا الاكتشاف طغى على كل البحوث التى أحدثت تغيرا فى المفاهيم خلال العشرين سنة الأخيرة تقريبا. وبنفس القدر الذى تطورت به التكنولوجيا المعقدة، تطورت قدرتنا على استكشاف explore وتفسير interpret أحداث الماضى الجيولوجى. وهذا قد حوّل انتباه الجيوفيزيقين وعلماء البحار مرة أخرى إلى قاع المحيط، وأدى إلى ثورة علمية جعلتنا نعيد التفكير فى كثير من الأفكار التى تخص كوكبنا.

ويستطيع أى واحد منا معه نموذج لكوكب الأرض أو أطلس للعالم، أن يلاحظ أن الساحل الشرقى لأميركا الجنوبية والساحل الغربى لأفريقيا يتشابهان بحيث يكمل أحدهما الآخر. وظل المستكشفون الأوائل لقرون عديدة يتساءلون عما إذا كان هناك تكامل دقيق بين تعرجات الساحلين من عدمه.

ومنذ أكثر من ٥٠٠ سنة، افترض السير فرانسيس بيكون Sir Francis Bacon أن هذه العلاقة ليست من قبيل المصادفة. ومن هنا نشأت الفكرة بأن أميركا الجنوبية وأفريقيا كانتا جزءا واحدا، ثم انفصلتا إلى جزئين انجرفا وتباعدا أحدهما عن الآخر (شكل ١٥٨). وإذا كان هذا الافتراض صحيحا، فإن الحفريات والأدلة الأخرى تشير إلى أن هذا الانجراف القارى قد حدث قبل الدور

الجوراسى، ثم تبع ذلك انـفصال كتـلة كبيرة مـن اليابسـة أدت إلى انفـصال قـارة أسـتـراليـا وأجـزاء أخـرى انجرفت وتباعـد بعضــها عن بعض. وقـامت على هذا محاولات كـثيرة لكى تعيـد لغز لعبة القطع المتـعرجة jigsaw إلى شكلها الأصلى المتكامل. وفى بـداية هذا القـرن، كـانت مـحـاولة هوارد بيكر Howard Baker مهمـة، حيث وضـع تصـورا لطريقـة انفصـال أجزاء القارات بعـضها عن بعض. وقد مكنه هذا مـن مضاهاة الـسلاسل الجـبلية الحـديثة من قارة إلى قـارة أخرى. ونمت هذه الفكرة، التى لم تكن مـجرد افتـراض، ثم ما لبـثت أن أصبحت غـير مـقبـولة وذلك بشكل متـكرر، إلى أن ظهر دليل جـديد فى نهـاية الخمـسـينـيـات والـسـتـينـيـات أدى إلى ارتقـاء هذه الفكـرة فأصبـحـت نظرية، يأخذ بها كثـير مـن العلماء حاليا.



شكل (١٥٨)

الترتيب المحتمل للقارات قبل الانجراف القارى، لا تزال هناك مناقشات وتضارب حول بعض الحدود لكن الموافقة على الانجرافات الأفريقية-الأميركية والأسترالية- القطبية الجنوبية تلاقى قبولا كبيرا

وفى عام ١٩٥٨ استـطاع جيولوجى من تـسـمانيـا هو س.و. كاراى S.W. Caray أن يصـنع نموذجا ضخما للكرة الأرضيـة مثّل فيه القارات بأشكال بارزة من مادة البـرسبكس perspex وأوضح أن أجزاء الـقارات بتعـرجاتهـا من الممكن أن

تتداخل مع بعضها لتعطى شكلا متكاملا. ومع تطور تكنولوجيا الحاسبات؛ استخدمت تلك الوسيلة القوية فى حل اللغز، وإنه لمن المدهش أن آخر دراسة قام بها السير إدوارد بولارد Sir Edward Bullard فى كمبردج باستخدام الحاسبات وأجريت على تكامل شكل القارات بحيث يكمل بعضها البعض، أن كانت النتائج متفقة مع النموذج والدراسة التى قام بها كاراى. وقد وجد أن افضل خط لاستكمال الشكل يقع عند خط كنتور ١٠٠٠ متر تقريبا.

وبعد أن تعددت الأدلة عن تكامل القارات بعضها مع بعض، كان السؤال هو «كيف؟» «ولماذا؟» كان لا بد من حدوث ذلك. ولا بد أن الأسباب causes والقوى forces التى تسببت فى حدوث ذلك، كانت قوى جيولوجية هائلة ومهمة. وللإجابة عن هذه المشكلة فإن هذه القوى لا بد وأن تكون موجودة فى باطن الأرض.

• حيود وسط المحيط Mid - Ocean Ridges

ظل معروفا لفترة من الزمن أن المحيط الأطلنطى كان أكثر ضحالة فى وسطه عنه فى أجزائه الأخرى. ويوجد خط من جزر وسط المحيط يمتد فى اتجاه الجنوب من أيسلندا حتى جزر الأزور Azores وجزر أسنشان Ascension Islands وإلى ماوراء ترستان دا كونها Tristan Da Cunha. وكثير من هذه الجزر هى بركانية الأصل.

يوجد نوعان مميزان من البراكين ينتشران حول العالم، وتتميز سلاسل الجزر البركانية الموجودة فى نطاق حيد وسط المحيط الأطلنطى بأنها من النوع البازلتى الساكن، وهى تختلف عن الثوران البركانى الأنديزيتى العنيف andesitic eruptions الذى يوجد حول المحيط الهادى Pacific Ocean. وأحدث جزر العالم هى جزيرة سورتسى Surtsey والتى تَصدَّر اسمها عناوين الصحف عام ١٩٦٣ حيث اعتبرت أنها وصلة أخرى (رابطة) فى هذه السلسلة المحيطية. ومنذ ٢٥ عامًا اكتشف أن هذه الجزيرة هى مجرد ظاهرة سطحية لحيد كلى تحت بحرى. ويبلغ عرض هذا الحيد مئات عديدة من الكيلو مترات، وارتفاعه حوالى ثلاثة كيلو مترات أو أكثر ويوجد فى هذا الحيد واد انخسافى مركزى central rift valley، وله عرض وعمق مثل الوادى الانخسافى بشرق أفريقيا.

وقد أوضحت الدراسة التى تلت ذلك أن هذا الحيد كان جزءا من نظام حيدى يمتد بعرض العالم لمسافة ٨٠ ألف كيلو متر (٥٠ ألف ميل). وهناك حيود شبيهة تنصف المحيط الهادى والمحيط الهندى، وتتصل هذه الحيود الثلاثة بحيد يمتد بين جنوب أفريقيا وأستراليا Australasia وأنتاركتيكا Antarctica، وجميع هذه الحيود لها نظام انخسافى ملحوظ.

وقد لوحظ أن خط حيد للمحيط الأطلنطى يتبع خط الساحل المكمّل لأفريقيا وأمريكا. ومع استمرار البحوث وتقدمها، أصبح واضحا أنه كانت هناك رواسب قليلة جدا على طول الحيود وأن الطبقة التى تكونت على بقية أرضية المحيط كانت أرق مما هو متوقع. كذلك فالأكثر إثارة للاستغراب هو أن أقدم المواد المعروفة لم يزد تقدير عمرها حينئذ على مئة مليون عام.

٢-انتشارأرضيةالبحر Seafloor Spreading

فى عام ١٩٦٠ تقدم العالم الراحل هِسّ Hess من جامعة برنستون بفكرة جريئة سميت «انتشار أرضية البحر» وكانت فكرة جديدة تماما ثم ما لبثت أن أصبحت مقبولة من الغالبية. افترض «هس» أن هذه الحيود توجد فوق تيارات حمل رافعة rising convection currents تنبع من وشاح الأرض؛ واقترح هِسّ أن القشرة المحيطية الرقيقة نسيا قد استمدت من الوشاح الصخرى عند الحيود، وأنها كانت تنتشر ببطء مبتعدة عن تيارات الحمل الرافعة.

وعلى افتراض أن الانجراف القارى هو حقيقة واقعة، وأنه حدث بعد الدور الجوراسى post - jurassic، فقد قام هس بعمليات حسابية ذكر على أساسها أن هذا الانتشار يحدث بمعدل سنتيمتر واحد أو سنتيمترين فى العام على أحد جانبى الحيد، وإذا كان ذلك صحيحا، فإن مجموع الانتشار للقشرة المحيطية المتكونة، يكون عمره أقل من ٢٠٠ مليون سنة. وبالمفهوم الجيولوجى، فإن هذه المدة تعد قصيرة جدا بدرجة تثير الدهشة إذا ما قورنت بالتقديرات الحديثة لعمر الأرض التى يقدر عمرها بحوالى ٤٥٠٠ مليون سنة. وإذا كانت افتراضية هس صحيحة، فإن أكثر من نصف سطح الأرض يكون قد تكون فى الجزء الأخير من العشرين جزءا التى يفترض أنها تكونت فيها الأرض. ولفترة زمنية كان يعتقد أن الأرض تتمدد،

لكنه قد ثبت أن هذه الفكرة ليست صحيحة. وعلى ذلك، فلو أن كل هذه المادة قد استحدثت، فإن جزءا منها لا بد أن يكون قد دمر فى مكان ما ليعوض هذه العملية.

• الخنادق Trenches

منذ حوالى مئة عام تقريبا، أجرى أول تسجيل لسبر الأغوار بالقرب من الساحل الشرقى لطنجا Tonga. ومما أثار دهشة قبطان السفينة، أنه كان عليه أن يمد سلكا طوله ٧٠٠٠ مترا (٢٤ألف قدم) قبل أن يصل السلك إلى قاع المحيط. وحديثا سجل معهد سكريبس لعلوم البحار عمقا فى المحيط يزيد على عشرة آلاف متر (٣٥ ألف قدم). وهذا العمق الهائل يزيد على ارتفاع أعلى قمة جبلية فى العالم «قمة إفرست» بحوالى كيلو متر. هذا الغور الهائل الذى يشبه فى شكله حرف V والذى يعرف باسم الخندق trench هو واحد من أمثاله العديدة التى تحد المحيط الهادى. وبشكل عام فإن هذه الأغوار تكون عادة ذات عرض لا يزيد على مئة كيلو متر، لكن الواحد منها قد يمتد طوله ثلاثة آلاف أو أربعة آلاف كيلو متر.

وفى هذه الأغوار وجد العالم هس حلا لمشكلته فى افتراضيته، فبينما حيود وسط المحيط تعلو التيارات الرافعة الآتية من داخل الأرض، فإن الأغوار تمثل الطرف المتجه إلى أسفل لتيارات الحمل. وهنا صادفت أرضية المحيط المتشرة حاجزا إما من قوس جزيرة أو من قارة، فأدى ذلك إلى هبوطها تحتها. وعندما غطست سطائح القشرة الأرضية إلى أسفل، تم إعادة امتصاصها reabsorbed إلى داخل وشاح الأرض. ويدعم هذه النظرية حدوث الزلازل ونشاط البراكين بالقرب من هذه الخنادق. وقد أوضحت الدراسات الحديثة أن الزلازل العميقة تحدث داخل حزام ضيق لا يزيد عرضه على عشرين كيلو متر. وهذا الحزام الزلزالى يعرف باسم نطاق بنيوف Benioff نسبة إلى هوجو بنيوف، الذى لاحظ هذا النمط من الزلازل حول المحيط الهادى لأول مرة. وهذا الحزام الزلزالى يتجه إلى أسفل بزاوية قدرها ٤٥ْ تقريبا خلف هذه الخنادق. وعندما تغوص (تهبط) القشرة المحيطية مع الجزء الأعلى القصيف brittle من وشاح الأرض، فإنه ينتج عن ذلك

تغيرات هائلة فى الضغط ودرجة الحرارة، مما يؤدى إلى تغيرات فيزيقية وكيميائية فينتج عن ذلك حدوث هذه الزلازل. ويتمركز أعمق زلزال أمكن تسجيله على عمق يزيد قليلا عن ٧٠٠ كيلو متر (٤٢٠ ميل)، مما يوحى بأن المواد التى طرأت عليها تغيرات مختلفة وتوجد أسفل هذا العمق، تم إعادة امتصاصها فى الوشاح الصخرى.

وتوجد مراكز الزلازل الضحلة أمام وأسفل الخنادق. وتنتج عن القشرة المحيطية، التى تتميز بكثافة منخفضة نسبيا، جاذبية وشذوذ مغنطيسى تم تسجيلهما فى مناطق الخنادق (الأغوار).

وعندما تهبط هذه المواد المنخفضة الكثافة تصبح أطرافها أكثر حرارة، ويتم طرد الغازات المتطايرة والمياه الموجودة فى الأطراف المتغيرة، فتصعد إلى السطح على هيئة أنواع من البراكين ذات التركيب الأنديزيتى المتفجر والتى تشكل حلقة نورانية حول المحيط الهادى.

هل كانت هناك أدلة تدعم الفكرة الذكية للعالم «هس»؟ لم يمض وقت طويل حتى اكتشف علماء الجيوفيزياء الذين يدرسون المغنطيسية القديمة، أدلة ملموسة أخرى من القارات وأرضيات المحيطات التى تنجرف وتنتشر. وتحتوى معظم الصخور النارية، مثل اللابة التى تخرج على طول الحيود الوسطى للمحيطات، على معادن حديدية، وهذه عند انبثاقها تكون على درجة حرارة لا تكون المغنطيسية فوقها. وعندما تبرد اللابة، فإن جسيمات الحديد ترتب نفسها طبقا للمجال المغنطيسى السائد للأرض. وباستمرار برودة اللابة يتجمد هذا الاتجاه المغنطيسى داخل المعادن الحديدية. وبطريقة أكثر تعقيدا، فإن هذا الاتجاه المغنطيسى، يتم تقييده عندما تتحول المواد إلى صخور رسوبية جديدة خلال الأزمنة الجيولوجية.

واقترح عالمان بريطانيان من علماء المحيطات، وهما فردريك ج فين Fredrick J. Vine ودراموند ج. ماثيوس Drammond H . Matthews إن المجال المغنطيسى للأرض يتحول إلى عكس اتجاهه من حين لآخر، وأن هذه التغيرات الشاذة تنعكس فى اتجاهات الترتيب المغنطيسى المتجمد فى اللابة المنبثقة والمتبردة من

القشرة المحيطية. وفى بداية الستينيات، كانت هذه الفكرة معقولة ومثيرة، لكن لم تكن هناك أدلة لإثبات صحتها. وفى نفس الوقت، تقدمت الطرق التقنية لتقدير عمر الصخور، بالطريقة الإشعاعية radioactive dating وأصبح من الممكن تقدير عمر اللابة بشكل دقيق. وقد تدعمت فكرة - ماتيوس وفين، حينما تبين أن اللابة التى جمعت من جميع أرضيات المحيطات ولها نفس العمر يكون لها الاستقطاب نفسه polarity. وبنهاية الستينيات أصبح من الممكن رسم مقياس زمنىtime-scale للانعكاسات التى طرأت على اتجاه المجال المغنطيسى للأرض خلال الثلاثة ملايين ونصف عام الماضية. ودعمت ذلك أيضا الدراسات التى أجراها العلماء على الصخور الرسوبية فى قيعان المحيطات واستخرجت جسات cores كاملة من الرواسب التى تقع فوق اللابة، ودرست، حيث لوحظ وجود نفس تتابع فترات الانعكاس والانعدال للمجال المغنطيسى.

وكان هذا الدليل مقنعا بقدر كاف وأثبت أن هذا الانعكاس حدث خلال الثلاثة ملايين ونصف عام الأخيرة. ولسوء الحظ لم تكن هذه الوسائل التقنية لتقدير عمر الصخور مضمونة فى الصخور الأقدم من ذلك. ولكن هل من المعقول أن ما تم تطبيقه بنجاح على فترة وجيزة نسبيا من الزمن الجيولوجى، يصح تطبيقه على فترة تزيد على ٢٠٠ مليون عام لانتشار قاع المحيط ؟ وإذا كان افتراض «هس» بأن انتشار قاع المحيط الذى يحدث من عند الحيود بمعدل سنتيمترات قليلة فى السنة، وكان اقتراح «ماتيوس» «وفين» عن الانعكاس المغنطيسى صحيحا، ففى هذه الحالة يمكننا الوصول إلى استنتاجات يمكن اختبار صحتها ميدانيا. وقد أمكن التنبؤ بوجوب حدوث تمنطق banding مواز للحيد الوسطى المحيطى، وأنه يجب أن يكون متماثلا على جانبى الحيد وبالإضافة إلى ذلك فيجب أن يكون هذا التمنطق متشابها فى النظام الحيدى بأكمله.

وبحلول عام ١٩٦٨ ثبتت صحة هذه الفكرة، على الأقل بالنسبة للخمسة وسبعين مليون عاما الماضية. وقد درس بالتفصيل جزء من حيد ريكجيتز Reykjanes ridge الذى يمتد فى الاتجاه الجنوبى الغربى من أيسلندا، ولوحظ أن التشابه فى التمنطق كان ملحوظا على جانبى الحيد. وتتواصل الآن البحوث الخاصة بالمحيطات شمال وجنوب المحيط الهادى على طول حيد المحيط الهادى

الأنتاركتى Pacifc - Antarctic ridge وأيضا فى المحيط الهندى وبقية المحيط الأطلنطى. وأمكن مضاهاة عملية انتشار قاع المحيط فى كل موقع من حيد لآخر.

وطبقا للنتائج التى أمكن التوصل إليها، أصبح من الواضح استنتاج أن عملية الانتشار لم تحدث بمعدل منتظم من حيد لآخر، لكنه كان من الممكن مقارنة هذا المعدل بين نظام system وآخر.

وفى عام ١٩٦٩ بدأ مشروع الحفر العميق فى المحيطات والمسمى "JOIDES" أول مراحله عند خمسين موقعا تقريبا فى المحيطين الهادى والأطلنطى وكان من ضمن المهام الموكلة إلى فرق البحث التأكد من فكرة انتشار أرضية قاع البحار.

وبدأ الحفر فى ثمانية مواقع حول خط عرض ٣٠ْ جنوبا، وفحصت جسات cores الصخور الرسوبية التى تعلو تدفقات اللابة البازلتية، وأمكن استخراج سبعة قطاعات seven sectionsكاملة لهذه الصخور الرسوبية من بين القطاعات الثمانية التى كانت قيد الدراسة. وأوضحت نتائج هذه الدراسة أنه يوجد معدل ثابت لعملية انتشار قاع المحيط بحوالى ٢سم كل عام. وقد وجد أن عمر أقدم الصخور الرسوبية التى تعلو الصخور البركانية وتختلط بها تتناسب طرديا مع المسافة التى توجد عندها العينة فى الحيد المحيطى.

ومن خلال هذه الأدلة الحديثة، تمكن العلماء من حساب المساحة التقريبية التى تشغلها القشرة المحيطية التى تكونت خلال حقب الحياة الحديثة Cainozoic Era وقد قدر أن حوالى ٥٠٪ من قشرة قاع المحيط الحالية وكذلك الرواسب التى توضعت فوقها عمرها أقل من ٦٥ مليون سنة تقريبا. وأصبح واضحا أن حوالى ثلث سطح الأرض قد تكون فى خلال فترة زمنية تمثل أقل من ٢٪ من عمر الأرض. ومن الأرجح أن النصف الآخر من القشرة المحيطية قد تكون خلال حقب الحياة المتوسطة Mesozoic Era.

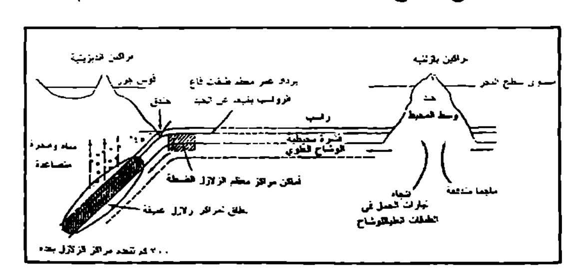
وفى الوقت الحالى فإن أقدم عينة استخرجها فريق البحث للحفر العميق فى البحار (JOIDES) يرجع عمرها إلى أكثر من ١٥٠ مليون سنة تقريبا، وهذا يقابل منتصف الدور الجوراسى.

• صدوع التحويل Transfrom Faults

فى الوقت الذى أنجزت فيه هذه التطورات، كان ويلسون J . T . Wilson يقوم بدراسة نوعية جديدة من نظم الصدوع أطلق عليها اسم صدوع التحويل، وفى كثير من الحالات، تعبر هذه الصدوع حيود وسط المحيط عموديا عليها ناقلة أجزاء من الحيود (مسافات ليست قصيرة)، ويستمر الانتشار على جانبى الحيد المصدوع. وأدت هذه الدراسة إلى زعزعة فكرة العالم «هس». وتبع ذلك إعادة التفكير فى هذا المجال، إذ برزت صعوبة فى تصور قدرة تيارات الحمل التى تصاعد من باطن الأرض على التزحزح والاستمرار لمسافات تزيد على عشرات أو مئات الكيلومترات من موقعها الأصلى.

٢- تكتونية الألواح Plate Tectonics

كانت نتيجة البحوث الجيدة التى قام بها العلماء: «هس» و«فين» و«ماتيوس»، والتى ثبت صحتها بالأدلة الملموسة، أن بزغت نظرية جديدة أمكن تطبيقها على نطاق العالم بأكمله(شكل ١٥٩). وقد طور العالم مرجان "Morgan" بجامعة برنستون من عمل العالم «ولسون» عن حيود وسط المحيط وارتباطها بصدوع التحويل Transform Faults. وقد ثبت اتفاق النتائج التى توصل إليها مع النتائج الأخرى التى توصل إليها مستقلا العالم ماكنزى



شكل (١٥٩)

تمثيل تخطيطى لانتشار أرضية قاع البحر والنشاط التكتونى المصاحب

"Mackenzie" بجامعة كمبردج والعالم باركر Parker من معهد سكريبس لعلوم البحار. وأدت أبحاثهم المنشورة حول «التكتونية الحديثة للعالم» والتطورات التى لحقتها حول نظرية «تكتونية الألواح» والتى شاع انتشارها، إلى ثورة فى كل معالم الدراسات الجيولوجية والدراسات المرتبطة بها.

وتبنى هذه النظرية على أساس مفهوم أن سطح الأرض بأكمله، ينقسم إلى نحو ستة ألواح كبيرة ورقيقة نسبيا، يبلغ سمك الواحد منها حوالى مئة كيلو متر، وقد يكون اللوح محيطيا تماما أو قد يحمل تكوينا قاريا ضخما. وتتحرك هذه الألواح حركة نسبية فى اتجاه بعضها البعض أو فى اتجاه محور دوران الأرض، وذلك بصفة مستمرة. وإذا كان الأمر كذلك، فإنه من الواضح أن هذه الألواح تتقابل وتتحرك بعضها عكس بعض، وينتج عن ذلك آثار جيولوجية مهمة، وأنها ستكون مواقع لأماكن حدوث التأثيرات العنيفة التى تمر بها. وأمكن تمييز ثلاثة أنماط من الحدود أو الوصلات:

• الحدود البنائية Constructive Bounderies

إحدى الطرق التى تتقابل بها هذه الألواح تعرف باسم الحدود المتباعدة divergent أو البنائية constructive. فتتقابل الألواح المتجاورة عند الحيود المحيطية أو ما يسمى بالمنابع. وتتكون فى هذه الحالة طبقة قشرية يصاحبها ثوران بازلتى وتدفقات لابية. وعندما تتكون هذه المواد الجديدة، تبدأ فى التباعد بمعدل يتردد بين ٢سم و٩ سم عن المصدر، مما يؤدى إلى الانتشار الذى أشرنا إليه سابقا فى هذا الباب.

ومن الجدير بالذكر أن اللوح الكبير الذى يحمل قارة أفريقيا له حدود بنائية على جانبيه الشرقى والغربى، ويمتد هذا اللوح من الحيد الأطلنطى شرقا عبر أفريقيا إلى حيد المحيط الهندى. وبما أنه لا يوجد خندق بين الحيدين، وأن كلتا هاتين الحافتين هما مصدر هذه المواد المنتشرة بمعدل يتردد بين ٢سم و٩سم فى العام، فإن هذا اللوح يتزايد حجمه بمعدلات ثابتة.

• الحدود الهدامة Destructive Boundaries

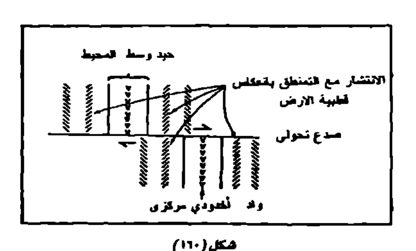
هذه على النقيض من النوع السابق؛ وتسمى الحدود الهدامة destructive أو المتلاقية convergent. وتوجد هذه الحدود التى تسمى أيضا بالوعات sinks عند

الخنادق التى تتخذ أشكالا تشبه حرف V، حيث يتقابل لوحان متجاوران عند حافتيهما فى وضع عكسى؛ وتدفع القشرة المحيطية الرقيقة أسفل الحافة الأخرى. ويدفع طرف اللوح limb إلى أسفل بزاوية قدرها ٤٥ْ تقريبا، مما ينتج عنه كل الظواهر التكتونية من الزلازل والثوران البركانى الأنديزيتى والظواهر الأخرى التى ترتبط بها.

والمحيط الهادى المحوط بخنادق كثيرة من هذا النوع، يبتلع المواد بمعدل أسرع من معدل استحداثها عند حيد وسط المحيط. وعليه، فإن مساحته تتناقص ببطء. وهذا يعوض الزيادة والتمدد اللذين يحدثان فى الألواح الأخرى دون أن يصاحب ذلك تمدد فى الأرض نفسها.

• الحدود الحافظة Conservative Bounderies

يوجد نوع ثالث من الحدود، حيث لا تتباعد فيه الألواح بعضها عن بعض أو يرتكز بعضها على بعض، لكنها تنزلق بعضها نحو بعض، وتسمى هذه الحدود باسم الحدود المحافظة أو وصلات التمزيق shear junctions. وتظهر هذه الحدود بمظهر الصدوع المحوّلة transform faults التى اكتشفها العالم ولسون "Wilson" (شكل ١٦٠).



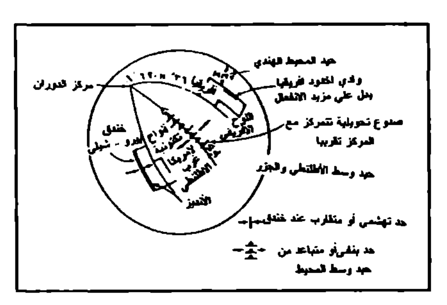
شكل (١٦٠)
الانتشار والتصدع من حيد وسط المحيط

ويمكن تمييز ودراسة هذه الظواهر بسهولة نسبية فى القشرة المحيطية لكن الأمر يكون أكثر صعوبة وتعقيدا إذا حاولنا ذلك فى القطاعات القارية القديمة

للألواح. وفى كل الحالات، فحينما تُمَد خطوط الحيود ونظم الخنادق، فإنها تؤدى إلى مناطق ذات نشـاط قارى. فـمثلا الخنـدق الإندونيـسى ونظام الجـزر القوسـية Island Arc System يـستمـران ويدخـلان فـى سـلسلة الهيـمالايا Himalayan ranges. مثل هذه العلاقات الوثـيقة بالإضافة إلى الحدود البحـرية المحددة جيدا، مكنت العلماء من استكمال تقسيم الأرض إلى ألواح.

• الحركة اللوحية Plate Movement

من المعلوم طبقا لقوانين الهندسـة، أن أى حركة على سطح كرة من الممكن اعتبارها حركة دورانيـة حول مركز يمكن تحديده. ويوحى شكل الأرض الذى يعد شكلا كروانيا (شبه كروى) pseudo - spherical بأفكـار عـن كيفية اخـتبار صحة نظرية الألواح. وقد أيدت البيـانات التى أمكن الحصول عليهـا من سفـن الأبحاث فى المحيط الأطلنطى، عندما درسـت ووضحـت بيـانيا، صحة نظرية الألـواح. وقد وجـد أن مـركـز دوران الصـدوع للمحـوِّلة transform faults الموجـودة فى نظام الأطلنطى، يقع تقريبا عـند نفـس خط عرض جرينتش Greenwich، لكن بدرجة ٣٦ْ إلى الغـرب (شكل ١٦١). كـذلك أجرى اخـتـبار عـلى تنبؤ هنـدسى أكثـر وضوحا، فالشيء الموجود على مسـافة أبعـد من مركز الدوران ويتحرك بعيدا عنه، يكون هو الأسرع ويلزم أن يتحرك بنفس الزاوية التى تتحرك بها أشياء أكثر قربا من



شكل (١٦١)

رسم مبسط لتوضيح تأثير الدوران للألواح على سطح الأرض

مركـز الدوران. وعلى هذا الأساس، فمن الممكن أن نتـوقع اختلافات في سـرعة الانتشار على طول خط الحيد حتى تتأكد من حركـة الألواح، وقد وجد أن ذلك حقيقى.

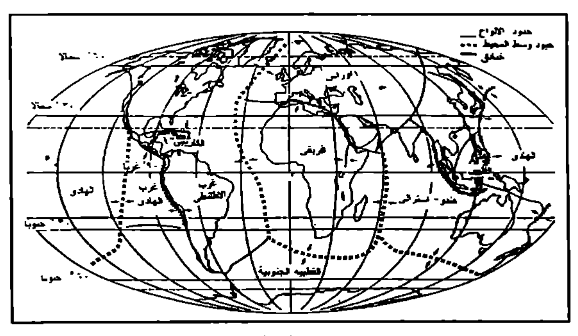
• مفاهيم لتطبيقات مستقبلية Implications for the Future

ماذا يحدث عندمـا تتلاقى ثلاثة ألواح ؟ وما هى أسبـاب حركة الألواح ؟. توجـد مناقـشـات تفـصـيلـيـة عن تكتـونيـة الألواح لا يتـسـع لهـا مـجـال هذا الكتاب. وبالـطبع فإن القارئ المهـتم، من الممكن أن يجد المزيـد عن هذا الموضوع بنفـسه ولنفـسـه، وكل المعلومات متاحة فى أمـاكنها الصحيحـة. وكلما عرفنا المزيد عن كوكبنا كان ذلك أفضل، لكن ما هى الاحتمالات التطبيقية المستقبلية لكل هذه الأنشطة العلمية.

نحن نعـرف الآن أفكارا أفـضل عن أسبـاب الزلازل، وقـد أمكننا أن نطور تقنيات أكثـر تعقيدا لتـحديد مراكز أنشطة الزلازل، وكـذلك كيفية التـنبؤ بها فى المستقبل. إن نظاما علميا ميّنا يُعـتمد عليه ليمكن عن طريقه إنقاذ حياة الآلاف لو استطاع هذا النظام التنبؤ بنوع الحركة العنيفة التى حدثت على طول النظام الصدعى «سـان أندرياس» فى بـداية هذا القـرن. وتحـدث الحـركـة علـى طول هذا اللوح الحدودى بمعـدل سـتـة سـنتيمـترات تقـريبا كل عام، مع ألواح الأطلـنطى والهادى المتحركة شمال / جنوب عكـس بعضهـا البعض (شكل ١٦٢).

وقد مكنـت نظرية تكتونية الألواح العلماء من حـساب مقدار الحركة المسـجلة، وما هو المطلوب للحفـاظ على الأشياء فى حالة اتزان. وعليه فـيمكنهم من التنبؤ بزلزال وشيـك، حينما يتـولد شد وإجهاد وقد اقترح العلماء أن نظامـا صـدعيا ما، يمكن «تزييته» «oiling» بالماء لتـسهيل الحركة فيه، أو أن تـستخدم عملية تفجير فيه لتنشيط حدوث زلازل صـغيرة بقصـد تحـاشى إمكانية حدوث كوارث مؤثرة نتـيجة لتراكم (تزايد) الإجهاد فى النظام.

وكمـا هو الحال مع الزلازل، فالحال مـشابه مع البراكين إذ يمكن أن نعرف الكثير عنها، وعليه فمن الممكن التنبؤ باحتمال حدوث ثورانها.



شكل (١٦٢)
تقسيم الأرض إلى الألواح الأساسية، موضحا الانتشار من حيود منتصف المحيط والامتصاص فى الخنادق

وهناك ظاهرة تدميرية أخرى لحركة الألواح تنشأ عن النشاط الزلزالى وهى عبارة عن تكاوين موجية هائلة تعرف باسم التسونامى Tsunami، ومركز أصل هذه التكاوين معروف إلى حد كبير، وتعيين حدود الألواح فى تلك المناطق يمكّن من تقديم قدر كاف من التحذير قبل حدوث التسومانى.

ولتكتونية الألواح أهمية كبرى فى المساعدة على فهم الماضى الجيولوجى، وكذلك وجهات النظر فى بحوث الجيولوجيا الاقتصادية؛ فهناك الكثير من رواسب الخامات الأساسية يرتبط مع تيارات الحمل الرافعة والآتية من باطن الأرض ونتيجة لانفصال الكتلة القارية الأفريقية عن الكتلة العربية تكونت خامات كثيرة بكميات كبيرة على طول خط البحر الأحمر. وتشمل هذه الخامات الذهب والفضة وكذلك مصادر لا تقدر بمال من النحاس والحديد وغيرها من الفلزات، وهذه الاكتشافات مع غيرها فى مواقع شبيهة مكّنت الجيوفيزيقيين من تحديد مواقع أخرى ممكنة لمثل هذه الرواسب المعدنية التى يبحث عنها الجميع.

لقد أثبت تطور نظرية تكتونية الألواح وجود مواقع ممكنة لخامات أولية غنية نافعة. كذلك فقد كانت مفيدة فى التنقيب والبحث عن مصادر للنفط والخامات الثانوية الأخرى فى العالم بأكمله. ومن خلال البحوث التى أجريت، أصبح ممكنا تحديد مواقع الألواح التكونية على خريطة عبر العصور المختلفة.

وتتركز هذه الخامات بصفة عامة عند خطوط العرض الدافئة، وعلى ذلك فيمكننا معرفة أى المناطق كانت موجودة عند خطوط العرض الدافئة فى الماضى، مما يعطينا دليلا (مرشدا) جيدا عن المناطق التى يجب أن نبحث فيها، وتلك التى يجب ألا نبحث فيها. ومازالت نظرية تكتونية الألواح حديثة، ولم تزل هناك أسئلة كثيرة بدون إجابة حتى الآن. وقد نحصل على معلومات أفضل عن أحزمة البراكين والزلازل الموجودة فى العالم وكذلك عن علاقة تكون القلانس الجليدية ice-caps بانجراف القارات نحو المناطق القطبية. لكن، وكما يحدث عادة، فإن الإجابة عن مشكلة قد تولد مشاكل أخرى تنتظر الحل.

لماذا تتغير قطبية الأرض polarity من وقت لآخر؟ وما هو تفسير وجود خط من الجزر البازلتية فى المحيط الهادى تكوّن بعيدا عن حيد وسط المحيط ؟ وكيف تعمل تيارات الحمل داخل الأرض على وجه التحديد؟ ومن أين أتى الماء الذى يملأ المحيطات حاليا، فى حين أن المحيطات منذ مئة مليون سنة كانت أكثر ضحالة؟ وإذا كان اللوح الأفريقى يتمدد والمحيط الهادى ينكمش فما هى الأوضاع الأكثر احتمالا فى المستقبل ؟ وهكذا فمع قدوم نظرية تكتونية الألواح قد بدأ فصل جديد من فصول تفهم الأرض. ومن يدرى بالضبط ما هى التطورات التى سوف تحدث فيما بعد.

الفصل الحادى والعشرون

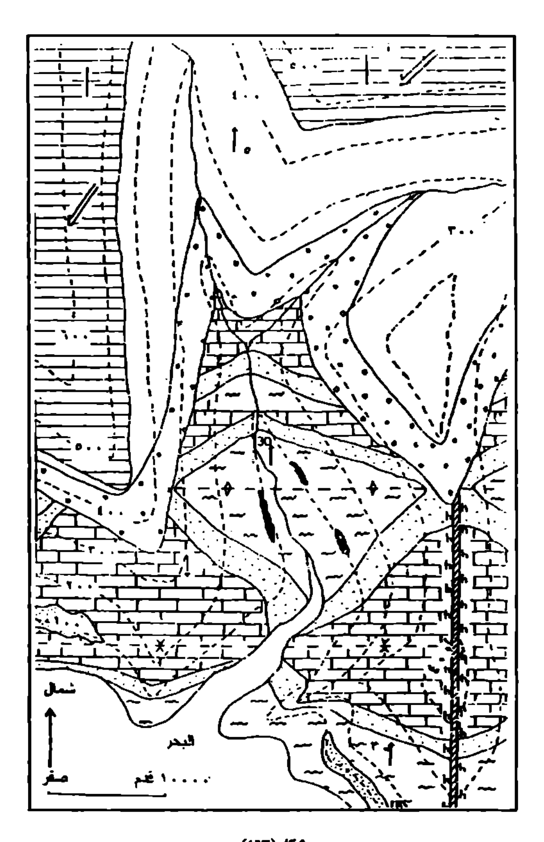
الخرائط الچيولوچية

GEOLOGICAL MAPS

يستخدم دارس علم الجغرافيا الخرائط؛ وسرعان ما يتعلم قراءتها ويستطيع استنباط النتائج منها حتى ولو كانت هذه الخرائط لمناطق لم يرها هذا الدارس من قبل. وبالمثل، فإن طالب الچيولوچيا يستطيع أن يستمد ثروة من المعلومات من خرائطه الچيولوچية. وتعد قراءة الخرائط من الأجزاء المهمة فى علم الخرائط الچيولوچية بكل المقاييس وعلى كل المستويات. ولهذا فإن هذا الفصل الأخير من هذا الكتاب يشتمل على ملخص لما سبق، وكذلك يعد مقدمة للخرائط الچيولوچية.

كان وليم سميث William Smith هو أول من رسم خريطة چيولوچية عام ١٨١٥ م، ومن ملاحظة الصخور ومضاهاتها باستخدام المحتوى الحفرى لهذه الصخور استطاع أن يُخرِج سلسلة من خمس عشرة خريطة (بمقياس رسم خمسة أميال لكل بوصة واحدة) وقد غطت هذه الخرائط إنجلترا وويلز. وأتم معهد العلوم الچيولوچية حاليا نشر سلسلة من الخرائط تغطى معظم أجزاء بريطانيا بمقياس رسم ميل واحد لكل بوصة.

إن الوضع فى الحقل يكون فى الغالب معقدا، وعليه فينصح الطالب بأن يتناول بالدراسة خرائط المسائل أولا. وهذه الخرائط معدة لتوضح سمات چيولوچية خاصة لمنطقة تخيلية imaginary area. والآن لننظر فى إحدى هذه الخرائط (شكل ١٦٣)، لنرى كيف أنها تعكس المعلومات التى وردت فى الجزء الأول من هذا الكتاب.



شكل (١٦٣)

مسألة (يرجع إليها فى المتن)

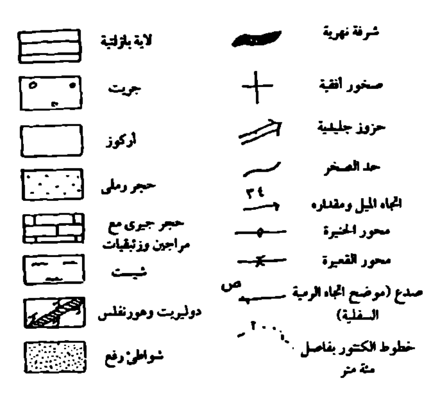
أولا: دعنا نرى أنواع الصخور الموجودة (شكل ١٦٤):

صخور متحولة: شيست وهورنفلس محلى حول متدخلة نارية.

صخور نارية: جُدَد دوليريتية وبازلت.

صخور رسوبية: حجر رملى، حجر جيرى، جريت وأركوز.

مظاهر أخرى: شاطئ مرفوع، شرفات نهرية، وخدوش ثلجية.



شكل (١٦٤)

وهو دليل للخريطة شكل ١٦٣

ثانيا: دعنا نأخذ فى اعتبارنا البنيات الموجودة فى هذه المنطقة والمبينة فى الخريطة شكل (١٦٣):

فى شمال المنطقة توجد صخور البازلت، وهى صخور أفقية (لاحظ كيف أن قاعدة الطبقة الأفقية تتبع خطوط الكنتور). وإلى الجنوب من ذلك توجد صخور الجريت والأركوز وتميل بزاوية قدرها ٥° شمالا. ولهذا يوجد لا توافق

unconformity بين هذه الصخور وصخور البازلت. لاحظ أيضا كيف تصنع الصخور المائلة أشكال رقم «٧» فى الأودية وعلى التلال. وبالاستمرار فى اتجاه الجنوب، نجد الأحجار الرملية والأحجار الجيرية المتأثرة بالصدع الممتد من الشرق إلى الغرب، وكذلك الحنيرة (الطية المحدبة) anticline والقعيرة (الطية المقعرة) syncline المتوازيتان مع الصدع. ويلاحظ ميل الطرف الشمالى للطية بزاوية قدرها ٣٠°، وميل الطرف الجنوبى لها بزاوية قدرها ٢٠°؛ وعليه فالطية إذن غير متماثلة asymmetrical. كذلك لا بد أن يكون هناك لاتوافق بين هذه الصخور وصخور الجريت والأركوز (لاحظ كيف أن الصدع يمتد باستقامة على امتداد المنطقة)، وهذا معناه أن الصدع رأسى، كذلك فإن الطيات تكون نظم طى fold patterns ^v^ و ^v «عندما يلتقى طرفاها المائلان».

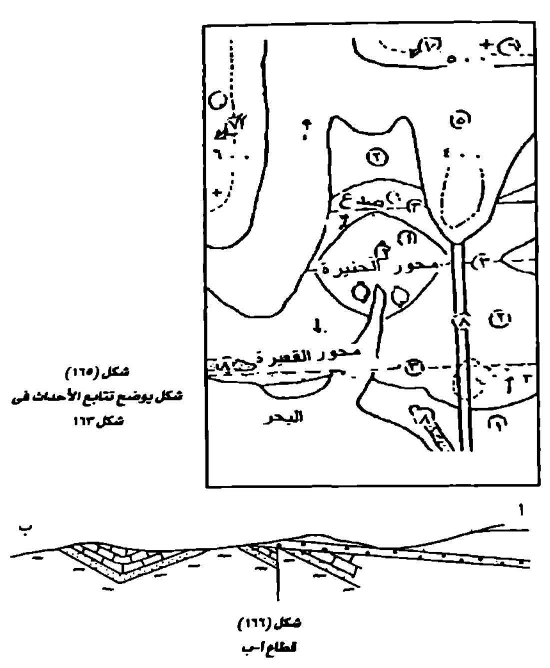
وتوجد فى شرق المنطقة جدة قاطعة dyke مع وجود منطقة تحول محلية، ونظرا لاتجاهها المستقيم فهى رأسية أيضا.

وأخيرا توجد عدة مكاشف لصخر الشيست فى مناطق عديدة تأثرت بالتحول الإقليمى regional metamorphism. ولهذا يوجد لا توافق ثالث بين هذه الصخور المتحولة وصخور الحجر الرملى والحجر الجيرى.

ثالثا: دعنا نرتب الأحداث تتابعيا (شكل ١٦٥): صخر الشيست هو أقدم الصخور، وعليه ترتكز صخور الحجر الرملى والحجر الجيرى المطوية والمتصدعة، ثم يلى ذلك الجدة القاطعة والهورنفلس hornfels اللذان تدخلا فى صخور الشيست والحجر الرملى والحجر الجيرى لكن تعلوهما الصخور الأخرى.

وتتكون المجموعة الرابعة من صخور الجريت والأركوز ذات الميل البسيط ثم تأتى بعد ذلك صخور البازلت الأفقية، ثم أخيرا الحزوز الثلجية الحديثة recent glacial striations، والشرفات النهرية river terraces وشاطئ الرفع raised beach.

ويمثل(شكل ١٦٦) قطاعا أُخذ على امتداد الخط أ - ب. وفيما يلى تفسير للحوادث التى سبق شرحها، ليساعدَ ذلك على تكوين رؤية مجسمة ثلاثية الأبعاد لما حدث فى الماضى بالنسبة لهذه المنطقة.



شكل (١٦٥)
شكل يوضح تتابع الأحداث فى
شكل ١٦٣

شكل (١٦٦)
قطاع ا-ب

والآن، دعنا نعيد بناء صورة للتاريخ الجيولوجى للمنطقة باستخدام المعلومات التى حصلنا عليها مما سبق، وكذلك من معلوماتنا الجيولوجية التى تعلمناها من الفصول السابقة من هذا الكتاب: أول الأحداث المسجلة فى هذه المنطقة هو تحول - على مستوى إقليمى - لصخور قديمة ليتكون منها صخر الشيست المتحول. والأغلب أن هذا قد حدث تحت ظروف من الحرارة العالية والضغط الشديد. ثم حدثت بعد ذلك فترة تحات erosion وطغيان بحرى marine transgression،

مما نتج عنه ترسيب حوالى مئة قدم من الحجر الرملى ومئات الأقدام من الحجر الجيرى (يمكن تعيين سمك الطبقات من القطاع الجيولوجى). ويفسر التغير الليثولوجى من الحجر الرملى إلى الحجر الجيرى، إمّا نتيجة لزيادة عمق البحر أو لنقصان كمية المواد الواردة إلى البحر. ويدل وجود المراجين والزنابق فى الحجر الجيرى إلى أن مياه البحر كانت ضحلة ودافئة وصافية. وربما كانت هناك طبقات أخرى فى هذا التتابع، لكن يحتمل أنها فُقِدَت نتيجة لعمليات الرفع uplift، والطى folding، والتصدع faulting، والتحات erosion التى حدثت بعد ذلك. وأدت عملية التصدع العادى إلى حدوث رمية سفلية downthrow قدرها ٣٠٠ قدم إلى الجنوب (يمكن تعيين ذلك أيضا من القطاع الجيولوجى).

ثم حدثت فترة من النشاط النارى كما يستدل عليها من جُدّة الدوليريت القاطعة التى أثرت على صخر المنطقة country rock بفعل الحرارة الناتجة عن عملية التدخل النارى igneous intrusion. وبعد فترة التحات erosion، ترسبت طبقات الجريت والأركوز. ونظرا لأن صخر الأركوز هو حجر رملى يحتوى على نسبة عالية من الفلسبار، فإن ذلك يدل على أن الأركوز قد ترسب فى بيئة قاحلة arid، مثل الظروف التى كانت سائدة فى بريطانيا أثناء الدور البرمى والترياسى.

بعد ذلك حدثت فترة نشاط نارى ثانية، ويلاحظ وجود جزئين من اللابة البازلتية المتدفقة التى تظهر على الأراضى العالية فى المنطقة (لاحظ أن الجُدّة الشديدة المقاومة تكوّن حيدا من التلال المنخفضة).

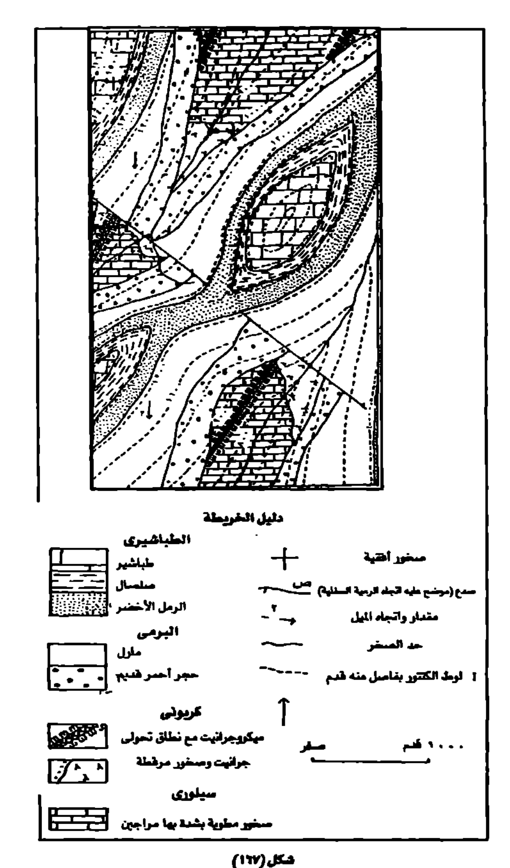
وبعد حدوث فترات الجفاف arid conditions، انسابت اللابة من البراكين، مما خلف لابة يقدر سمكها بحوالى ٢٠٠ قدم على الأقل، وأدى ذلك إلى إمالة tilting الطبقات التى توجد تحتها.

وبدأت الظروف القاحلة الحارة فى التلاشى تدريجيا ثم غطت الثالج المنطقة. ومن الممكن تعيين حركة المثلجة من العلامات التى تركتها المثلجة على الانسيابات اللابية lava flows .

بعد ذلك حفر النهر واديه بفعل عمليات التحات erosion. وتدل الشرفات النهرية وشواطئ الرفع على فترة من الرفع uplift عندما حدثت عملية تصابى

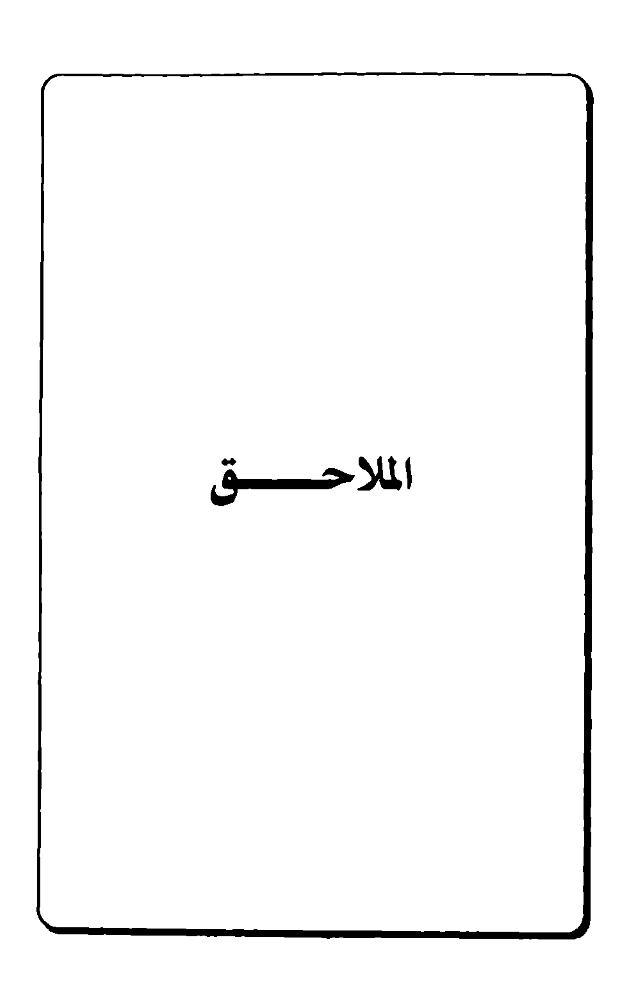
للنهر rejuvenation، ونتجت عن ذلك الطوبوغرافية الموجودة فى المنطقة حاليـا.

وتمثـل الخريطة فـى (شكل ١٦٧) نموذجا آخر للقـارئ ليحاول أن يدرســها ويفســرها بنفســه.



شكل (١٦٧)

مسألة أخرى للدراسة والتفسير



الملاحـــق

ملحق (أ)

الصفات الفيزيقية التي وضعت في الفصل الثاني

المعدن	الصيغة الكيميائية	النظام	اللون	البريق	الصلادة	الوزن النوعي	الشفافية	التشقق	المكسر	الحكاكة
فلسبار الأورثوكليز	$KAlSi_3O_8$	الميل الواحد	أبيض، رمادي، أحمر لحمي، أصفر.	زجاجي	٦	٢,٦-٢,٥	شفاف إلى شبه شفاف	في مستويين متعامدين	محاري	أبيض، عديم اللون
فلسبار البلاجيوكليز	ألبيت $NaAlSi_3O_8$ وأنورثيت $CaAl_2Si_2O_8$	الميول الثلاثة	أبيض، أصفر، أحمر، رمادي أو أسود.	زجاجي	٦	٢,٨-٢,٦	شفاف إلى شبه شفاف	في مستويين متعامدين	غير مستو	أبيض، عديم اللون
كوارتز	SiO_2	السداسي	عديم اللون، أبيض، وردي، رمادي.	زجاجي إلى شمعي	٧	٢,٦٥	شفاف إلى معتم	غير متشقق	محاري إلى غير مستو	
مسكوفيت	سليكات معقدة للألومنيوم والبوتاسيوم	الميل الواحد	شفاف، رمادي أو بني فاتح.	زجاجي لؤلؤي	٢,٥-٢	٣,١-٢,٨	شفاف إلى معتم	قاعدي كامل	—	أبيض أو فاتح اللون
بيوتيت	سليكات معقدة	الميل الواحد	أسود، بني أدكن أو أخضر	زجاجي لؤلؤي	٢,٥-٢	٣,١-٢,٨	شفاف إلى معتم	قاعدي كامل	—	—
أوجيت (بيروكسين)	سليكات معقدة	الميل الواحد أو المعيني القائم	أخضر بني أو أسود.	زجاجي أو معدني	٦-٥	٣,٦-٣,٢	معتم	في مستويين متعامدين غالباً	غير مستو أو شظوي	—
هورنبلند (أمفيبول)	سليكات معقدة	الميل الواحد أو المعيني القائم	أبيض، أخضر، رمادي أو بني.	زجاجي وقد يكون حريري	٦-٥	٣,٣-٢,٩	معتم	في مستويين مائلين بزاويتي ٥٦ و١٢٤	—	أبيض إلى أخضر رمادي
كالسيت	$CaCO_3$	السداسي	عديم اللون، أبيض، أصفر.	زجاجي	٣	٢,٧٢	شفاف إلى معتم	معيني كامل في ثلاثة اتجاهات	محاري	فاتح اللون أو عديم اللون
دولوميت	$CaCO_3.MgCO_3$	السداسي	أبيض وغالباً يوجد في ألوان مختلفة.	زجاجي إلى لؤلؤي	٣,٥	٢,٩-٢,٨	معتم	معيني كامل	محاري، شظوي	رمادي إلى أبيض

المعدن	الصيغة الكيميائية	النظام	اللون	البريق	الصلادة	الوزن النوعي	الشفافية	التشقق	المكسر	المحكاكة
فلوريت	CaF_2	مكعبي	عديم اللون، أبيض، أزرق.	زجاجي	٤	٣,٢٥-٣	شبه شفاف	ثماني الأوجه كامل	محاري	أبيض
أراجونيت	$CaCO_3$	المعيني القائم	أبيض، رمادي، أخضر أو بنفسجي.	زجاجي	٣,٥	٢,٩	شفاف إلى شبه شفاف	كامل في مستوى واحد أو غير واضح في مستويين	تحت محاري ضعيف ع	أبيض
جبس	$CaSO_4.2H_2O$	الميل الواحد	عديم اللون، أبيض أو مصبوغ.	زجاجي لؤلؤي أو حريري	٢	٢,٣	شفاف إلى معتم	كامل في مستوى واحد أو غير واضح في مستويين	—	أبيض
أنهيدريت	$CaSO_4$	المعيني القائم	عديم اللون، أبيض إلى رمادي	زجاجي لؤلؤي أو دهني	٣,٥-٣	٢,٩	شفاف إلى شبه شفاف	كامل في ثلاثة اتجاهات	غير مستو إلى شظوي	أبيض
هاليت (الملح الصخري)	$NaCl$	مكعبي	عديم اللون، أبيض، أحمر أو أزرق.	زجاجي	٢,٥-٢	٢,٣-٢,١	شفاف إلى شبه شفاف	مكعبي كامل	محاري	أبيض
كاولينيت	$Al_2O_3 . 2SiO_2 . 2H_2O$	الميول الثلاثة	أبيض، أصفر أو رمادي	شمعي إلى ترابي	٢,٥-١	٢,٦-٢,٢	معتم	قاعدي كامل	مجمد	—
سربنتين	$3MgO.2SiO_2.2H_2O$	الميل الواحد	أدكن، أسود، أخضر	شمعي إلى حريري	٤-٢,٥	٢,٨-٢,٥	شبه شفاف إلى معتم	ضعيف	محاري إلى شظوي	أبيض
كلوريت	سليكات معقدة	الميل الواحد	أخضر	لؤلؤي	٢,٥-١	٣-٢,٦	شبه شفاف إلى معتم	في مستوى واحد	—	ضارب إلى الاخضرار
بوكسيت	$Al_2O_3.2H_2O$	عديم التبلور	أبيض، أصفر، بني، أحمر	غير لامع	٣-١	٢,٥-٢	معتم	—	—	مثل لون المعدن

المعدن	الصيغة الكيميائية	النظام	اللون	البريق	الصلادة	الوزن النوعي	الشفافية	التشقق	المكسر	الحكاكة
كالكوبيريت	$CuFeS_2$	الرباعي	أصفر نحاسي	فلزي	٤-٣,٥	٤,٢	معتم	—	قصيف	أسود إلى الاخضرار
كالكوسيت	Cu_2S	المعيني القائم	رصاصي-أسود	فلزي	٣-٢,٥	٥,٨-٥,٥	شفاف إلى معتم	ضعيف	محاري، قصيف	أزرق إلى رمادي
أزوريت	$2CuCO_3 . Cu(OH)_2$	الميل الواحد	أزرق لازوردي	زجاجي	٤-٣,٥	٣,٨	معتم	—	محاري، قصيف	أزرق فاتح
مالاكيت	$CuCO_3 . Cu(OH)_2$	الميل الواحد	أخضر لامع	حريري - أرضي	٤-٣,٥	٤,٠٣-٣,٩	معتم	—	غير مستو	أخضر فاتح
الذهب	Au	المكعبي	أصفر ذهبي	فلزي	٣-٢,٥	٣-١,٩	معتم	—	مسنن	أصفر ذهبي
جالينا	PbS	المكعبي	رصاصي	فلزي لامع	٢,٥	٧,٦-٧,٤	شفاف إلى شبه شفاف	مكعبي كامل	تحت محاري	يشبه لون المعدن
سيروسيت	$PbCO_3$	المعيني القائم	أبيض	حريري	٣	٦,٤	تحت شفاف إلى معتم	—	محاري، قصيف	أبيض
سنابار	HgS	السداسي	أحمر إلى بني لامع	ألماسي إلى أرضي	٢,٥-٢	٨,١	معتم	منشوري كامل	تحت محاري إلى غير مستو	قرمزي
الفضة	Ag	المكعبي	أبيض فضي [illegible]	فلزي	٣-٢,٥	١٠,٥	معتم	—	مسنن	أبيض فضي
أرجنتيت	Ag_2S	المكعبي	رمادي إلى سواد	فلزي	٢,٥-٢	٧,٣	معتم	—	تحت محاري	رصاصي لامع
كاسيتريت	SnO_2	الرباعي	درجات من البني الأصفر البني إلى الأحمر	ألماسي تحت فلزي وأرضي	٧-٦	٧,١-٦,٨	تحت شفاف إلى معتم	—	غير مستو، قصيف	أبيض إلى رمادي فاتح
سفاليريت	ZnS	المكعبي	أصفر بني أسود	صمغي إلى ألماسي	٤-٣,٥	٤,١	زجاجي	في ستة اتجاهات	محاري	بني فاتح

المعدن	الصيغة الكيميائية	النظام	اللون	البريق	الصلادة	الوزن النوعي	الشفافية	التشقق	المكسر	الحكاكة
هيماتيت	Fe_2O_3	السداسي	رمادي أحمر بني أو أسود	فلزي إلى ترابي	٥-٦,٥	٤,٩-٥,٣	معتم	ضعيف	محاري إلى غير مستو	أحمر
مجنتيت	Fe_3O_4	المكعبي	أسود	فلزي إلى تحت فلزي	٥,٥-٦,٥	٥-٥,٢	معتم	ضعيف	محاري إلى غير مستو	أسود
ليمونيت	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	عديم التبلور	أصفر بني أو أسود	ترابي	٥-٥,٥	٣,٤-٤	معتم	—	غير مستو	أصفر - بني
بيريت	FeS_2	المكعبي	أصفر نحاسي	فلزي	٦-٦,٥	٤,٩-٥,٢	معتم	—	غير مستو	أسود مخضر إلى البني والأخضر
بنتلانديت	$(Fe, Ni) S$	المكعبي	أصفر برونزي	فلزي	٣,٥-٤	٥	معتم	—	غير مستو	أسود
سمالتيت	$COAs_2$	المكعبي	أبيض	فلزي	٥,٥-٦	٦,٤	معتم	ثماني الأوجه	غير مستو ضعيف	أسود إلى رمادي
كروميت	$FeCr_2O_4$	المكعبي	أسود	تحت فلزي	٥,٥-٦	٤,٦	معتم	—	غير مستو	بني
مجنزيت	$MgCO_3$	السداسي	أبيض	زجاجي	٤	٣	شفاف إلى معتم	معيني كامل	محاري	—
يورانينيت	أكسيد معقد لليورانيوم	المكعبي	أسود أو بني إلى أسود	مثل القار تحت فلزي	٥,٥	٩-٩,٧	معتم	—	غير مستو إلى محاري	بني مسود
كارنوتيت	$K_2 (UO_2) 2(VO_4)_2 \cdot H_2O$	المعيني القائم	أصفر كناري فاتح	ترابي	طري جداً	٤	معتم	قاعدي	غير مستو	أصفر فاتح
كبريت	S	المعيني القائم	أصفر	صمغي إلى شحمي	١,٥-٢,٥	٢,١	شفاف إلى معتم	غير كامل	محاري إلى غير مستو	أبيض

ملحق "ب"

الصخور والمعادن والحفريات: من أين تجمع؟ وكيف؟

يعتمد جمع عينات الصخور والحفريات والمعادن على معرفة المكان الذى يجب أن نبحث عنها فيه، وكذلك الأدوات التى يجب استخدامها، وأهم الطرق الفعالة لجمع هذه العينات.

١- أين تبحث؟ Where to Look

من أهم ما يلزم ويشكل الأساس لجمع عينات الصخور والمعادن هى أين تبحث عن العينات؟ فالصخور والمعادن توجد حولنا فى كل مكان. وليست المشكلة تتمثل فى ماذا تجمع من عينات وتأخذها، وماذا تترك ولا تأخذه.

حاول أن تجمع العينات الصخرية من الأنفاق التى تحفر لإنشاء الطرق أو خطوط السكك الحديدية وكذلك من الأنهار والخوانق، فكل ضفة لنهر أو جرف cliff أو شاطئ أو حفرة كبيرة يمكن الحصول منها على عينات مهمة وقيّمة لأنماط مختلفة من الصخور. ولو كانت الصخور قد تعرضت لدرجة ما من عمليات التجوية، فإن ذلك يسهل الحصول عليها، حيث تؤدى عمليات التجوية إلى إزالة بعض المواد السطحية السائبة.

ومن الأماكن المناسبة لجمع العينات أيضا حُفَر الجس rock pits، والمحاجر. ويجب قبل دخول هذه الأماكن أخذ التصاريح اللازمة، كما يجب مراعاة الحذر عند جمع عينات من هذه الأماكن خوفا من الانهيارات الصخرية أو حدوث الانفجارات التى تجرى لتكسير كتل الصخور الكبيرة إلى كتل أصغر حجما.

وتعد الطفوح البركانية من أنسب الأماكن لدراسة الصخور البركانية، حيث تكون معظم الفجوات الغازية (اللوزيات amygdales) مبطنة بمعادن الكوارتز والكالسيت والأوجيت وبعض بلورات المعادن الأخرى.

وتوجد الصخور النارية فى أرجاء كثيرة من البلاد. ويوجد كثير من بلورات المعادن فى معظم المتدخلات النارية مثل الجرانيت والجدد القاطعة dykes والسدود الأفقية sills.

كذلك يجب النظر فى طبقات قيعان المجارى المائية stream beds ويجب الا ننسى أن كثيرا من الصخور الموجودة فى أماكن كثيرة قد نقلت لمسافات بعيدة وأن العينات الصخرية التى توجد فى مكان بعينه، ليست من المكان نفسه الذى تكونت فيه. وتوجد الحفريات تحت ظروف مختلفة عن تلك التى توجد فيها الصخور والمعادن. ومن المعلوم أن الحفريات لا توجد فى الصخور النارية والمتحولة، بينما توجد فى الصخور الرسوبية البحرية، حيث توضعت هذه الرواسب فى ظروف مناسبة لحياة الكائنات الحية وسهلت حفظ بقاياها بعد موتها. ومن أمثلة الصخور التى توضعت فى هذه الظروف الأحجار الجيرية والطفلة وبعض أنواع الأحجار الرملية. ومن المستحب البحث فى المناطق التى لم تتأثر فيها الصخور الرسوبية البحرية بالتغيرات الحرارية أو الضغط أو التغيرات الفيزيقية والكيميائية. كذلك يوصى بالبحث عن أماكن تعرضت فيها الصخور لعمليات التجوية، فإن هذا يساعد كثيرا على التقاط الحفريات من الصخور المحتوية عليها.

وتعد المحاجر من الأماكن المناسبة للبحث وجمع العينات. ويجب التنبيه مرة أخرى، بأنه لابد من أخذ التصاريح قبل دخول هذه الأماكن. وفى العادة تكون مكاشف الصخور فى المحاجر قشية.

ومن المحتمل أن تكون قد اعترتها عوامل التجوية إلى حد ما. وتوجد العظام والغابات المتحجرة فى حفر pits الرمل والجراول المرتبطة بالشرفات النهرية.

ويجب بذل عناية خاصة بالخنادق المقطوعة والجروف والشواطئ، حيث تكون هذه الصخور المتكشفة فى هذه الأماكن لا تزال محتفظة بوضعها الأصلى وتعرضت لبعض عمليات التجوية.

ومن الأماكن المناسبة للتأمل وجمع العينات، طبقات مجارى الأنهار stream beds، حيث تتعرض باستمرار لعمليات النحات مما يؤدى إلى انكشاف طبقات جديدة عاما بعد عام. ولو كانت هناك مناجم فحم مهجورة بالقرب من الأماكن

التى يبحث فيها عن عينات، فيجب مراجعة الصخور التى توجد حول فتحات المنجم وبخاصة فتحات التهوية. وقد ينتج عن الفحص الدقيق لبقايا عمليات الحفر العثور على عينات من النباتات المتحفرة التى حفظت جيدا.

وفى بعض الأحيان تحفر بعض الآبار للبحث عن النفط أو الفحم، وقد تترك بعض الشركات المسئولة عن الحفر بعض المواد التى استخرجت من تحت السطح إلى السطح وهذه العينات من الممكن أن تستخدم لمعرفة التراكيب والصخور التحتسطحية.

٢-الأدوات Equipments

تعد هواية جمع الصخور من الهوايات غير المكلفة نسبيا، إذإأنها تتطلب أدوات وإمكانيات بسيطة للغاية. لكن هناك أدوات لا بد من توافرها حتى فى أقل الأحوال، ومن أهمها:

• المطرقة Hammer

تعد المطرقة الأداة الأساسية عند جامع الصخور، وفى معظم الحالات تكفى مطرقة من الحجم المتوسط، لكن الخبرة فى مجال جمع الصخور قد تتطلب الحاجة إلى مطرقة الجيولوجى geologist's hammer والتى تسمى أيضا ملقاط أخصائى المعادن geologist's picks أو ملقاط المكتشف prospector. ويوجد نوعان من المطارق التى تستخدم فى هذه الأمور، النوع الأول تكون له رأس مربعة عند طرف بينما الطرف الآخر يكون مدببا. أما النوع الثانى فيشبه المطرقة التى يستخدمها الحجارون أو البناؤون، حيث يكون للمطرقة «أزميل» بدلا من الطرف المدبب. وتفيد الرأس المربع للمطرقة فى تكسير الصخور وترقيقها وكذلك فى تقسيم العينات الصخرية كبيرة الحجم، بينما يستخدم الأزميل أو الرأس المدبب فى عمليات الحفر وفصل الصخور الرخوة.

• أكياس الجمع Collecting Bags

تتطلب عملية جمع المعادن والصخور أنواعا معينة من الأكياس، وأدوات ولوازم أخرى، مثل حقيبة الظهر knapsack أو ما شابه ذلك من الأكياس المصنوعة من الجلد.

• الأزميل Chisel

حينما يراد ترقيق العينات الصخرية (تقطيعها فى رقاقات) أو نزعها من الصخور المحيطة، يلزم فى هذه الحالات زوج من الأزاميل. ويستخدم فى هذا الصدد نوعان منها؛ حجم الأول نصف بوصة والأزميل الآخر حجمه بوصة واحدة. كذلك يستخدم مثقاب حاد فى نزع العينات الصغيرة وفصلها من الصخور الرخوة.

• مواد التغليف Warpping Materials

هناك بعض العينات الجيولوجية القصيفة، وهذه يجب تناولها بعناية خاصة. وعادة يجب وضع بعض الصحف القديمة فى حقيبة جمع العينات، حيث توضع كل عينة وتلف وحدها كما جمعت. كذلك يجب مراعاة حماية العينات من الكسر أو الإتلاف. وفى حالة العينات القصيفة جدا، فيجب الاحتفاظ بأوراق ناعمة وبعض القطن cotton اللازم لتغليف العينات الجيولوجية الهشة. كما أنه من المفيد استخدام صناديق صغيرة من الكرتون أو الصفيح للحفاظ على العينات.

• الخريطة والنوتة والقلم الرصاص Map , Notebook and Pencil

من الأهمية بمكان، أن يكون مع جامع العينات أدوات لتسجيل مكان وجود العينات، حيث إنه من السهل نسيان المكان الذى جمعت منه العينات، ويجب أن لا يعتمد الإنسان على ذاكرته فقط، بل يجب أن تكون معه نوتة صغيرة الحجم غير غالية الثمن وسهلة الحمل فى الحقل. وبالنسبة إلى الخرائط، فإن أكثر الخرائط فائدة فى الحقل، هى الخرائط التى تصدرها هيئة المساحة للمنطقة بمقياس رسم ميل (١ كيلو متر = ١٠٠٠ متر = ٠,٦٢١٤ ميل) إلى بوصة (١ سم = ٠,٣٩٣٧ بوصة)، وإذا كانت هناك حاجة إلى عمل تفصيلى فتصبح الخريطة التى مقياس رسمها ٦ بوصات مفيدة فى هذا الصدد.

• نظارات التكبير Magnifing Glasses

إذا كانت العينات المراد دراستها صغيرة الحجم، فإن العدسة البسيطة والنظارة المكبرة تصبح مفيدة فى مثل هذه الحالة. وقد أثبتت هذه الأدوات فائدتها عند

فحص المكتنفات المعدنية الصغيرة الموجودة فى عينات صخرية كبيرة. وتستخدم عدسة مكبرة (تكبيرها ١٠ X) فى معظم الحالات، وهناك نماذج عديدة من هذه العدسات رخيصة ومفيدة فى الوقت نفسه.

• الأكياس الورقية وأكياس القماش Paper,Polythene and Cloth bags

تستخدم أكياس ذات حجوم مختلفة لحفظ الحفريات وعينات الصخور. ويجب أن يكتب اسم المنطقة على الكيس مباشرة أو على ملصق Label يوضع داخل الكيس مع العينة، وتكتب البيانات التى توضح المكان الذى جمعت منه العينة على الكيس من الخارج، وفى بعض الحالات - ولزيادة التأكيد - فقد يوضع فى داخل الكيس ورقة مدون عليها البيانات نفسها الموجودة على الكيس من الخارج.

• أدوات مفيدة أخرى Other Useful Items

الأدوات التى ذكرت فيما سبق هى الأهم من ناحية الحاجة إليها عند جمع العينات، وتكوّن الأدوات الأساسية اللازمة. أما هواة جمع الصخور الجادين فيضعون فى الحقيبة الميدانية بعض الأدوات الإضافية مما يجعل عملهم يقرب فى دقته من عمل المحترفين. وتتمثل هذه الأدوات الإضافية فى خريطة جيولوجية للمنطقة، كذلك لا بد أن يستشير مؤسسة العلوم الجيولوجية ليتأكد من وجود خرائط منشورة للمنطقة التى يجمع منها العينات، وعليه فلا بد أن يطلع على قائمة المنشورات والمطبوعات للمنطقة. ويمكن الحصول على هذه الخرائط من المكتبات والمتاحف والمدارس، وعند الزملاء أيضا. ويمكن شراء هذه الخرائط من المكتبات. كذلك يقتنى الهاوى الجاد بوصلة لكى يحدد بدقة مكان منطقة جمع العينات، ويتمكن من قياس اتجاه الميل، وكذلك كلينومتر؛ وهو جهاز بسيط يستخدم لقياس زاوية الميل.

وهناك حاجة أيضا إلى شرائط لاصقة لتكتب عليها البيانات المتاحة عن المنطقة وتلصق مباشرة على العينة. وتستخدم بطاقات من الورق (٣ × ٥ بوصة تقريبا) حيث يكتب على كل بطاقة البيانات بدقة لتحديد محتوى كل كيس. ويستخدم سكينا للجيب (مطواة) لاختبار صلادة الصخور والمعادن. كذلك تستخدم المطواة لاستخراج الحفريات أو بلورات المعادن من الصخور الرخوة دون أن تهشم البلورة أو الحفرية.

وتحتاج بعض الصخور (مثل الأحجار الجيرية) عند التعرف عليها إلى اختبارها، بواسطة حمض الهدروكلوريك الذى يمكن شراؤه من عند تجار الكيماويات؛ ويجب تداول الحمض بعناية، ويوضع حمض الهدروكلوريك المخفف فى زجاجة تسكب الحمض نقطة بنقطة. وتكفى نقطة واحدة من الحمض لسكبها على العينة الصخرية لمعرفة ما إذا كانت العينة جيرية أم لا، إذ يحدث فوران لو كانت العينة جيرية (ويجب أن يلصق على زجاجة الحمض كلمة سم Poison، وتوضع بعيداً عن متناول الأطفال) ولو سقط الحمض على ملابسك أو على جلدك، فيجب غسل الملابس والجلد فى الحال بالماء الجارى.

٢- كيف تجمع العينات؟ How to Collect

طالما استقر الرأى على منطقة ما لجمع العينات منها، فلا بد أن تفحص الأرض بعناية فائقة. ولا بد أن يبحث عن الكسر الصخرية التى تحتوى قطعاً من المعادن أو الحفريات. وإذا كانت العينة قد تفككت بفعل عمليات التجوية، فهنا يمكن التقاطها بسهولة ووضعها فى كيس العينات. وغالبا ما يستدعى الأمر استخدام المطرقة لالتقاط العينة من الصخور المحيطة بعد إخلاء مكان العينة بالمطرقة. وبالنسبة إلى العينات الأصغر حجما والتى تتطلب عناية خاصة لالتقاطها فيستعمل لذلك الأزميل، لإزالة المواد الرابطة matrix بالتدريج ثم التقاط العينة وتغليفها ووضعها فى كيس العينات.

وقبل ترك المنطقة التى جمعت منها العينات، لا بد من تسجيل وضعها الجغرافى فى كراسة التدوين الحقلية. ويجب توقيع المنطقة على الخريطة وتسجيل ذلك فى كراسة التدوين، فربما تحتاج للعودة إلى المكان نفسه مرة أخرى.

ولو كانت هناك خرائط طوبوغرافية متاحة، فينصح بوضع مكان المنطقة بالتحديد على الخريطة. ويلى ذلك تسجيل البيانات الجغرافية على بطاقة label ووضع السجلات فى حقيبة الظهر فى مكانها المخصص لذلك. ويميل كثير من هواة جمع العينات إلى تدوين المنطقة على كل كيس من الخارج. وبالنسبة إلى المواد التى تجمع من أماكن مختلفة منفصل بعضها عن بعض، فهذه تحفظ فى أكياس مستقلة من القماش أو الورق. ويجب العناية بدقة بوضع البطاقة مع العينة

فى مكان واحد وكيس واحد، ويجب أن تتذكر دائما أن العينة بدون تحديد مكان جمعها بدقة يقلل من قيمتها كثيرا.

ومن أفضل الطرائق لتعلم كيفية جمع العينات هو الاشتراك فى رحلة چيولوچية منظمة إلى المتاحف أو النوادى التى تهتم بالمعادن والصخور، فهناك سوف ترى وتعمل مع مجموعة من المهتمين بجمع العينات؛ لدرايتهم وإلمامهم بقواعد وأسس جمع العينات. وتؤدى مثل هذه الرحلات إلى التعلم الميدانى الصحيح، وكذلك إلى تبادل عينات المعادن والصخور والحفريات، مما يساعد الجامعين على تنظيم عيناتهم وإعدادها فى مجموعات مرتبة.

APPENDIX C "ملحق ج"

موجز لمملكتي النبات والحيوان

SYNOPSIS OF PLANT AND ANIMAL KINGDOMS

Kingdom Plantae (Plants)	المملكة النباتية (النباتات)
Sub-Kingdom Thallophyta - Plants not forming an embryo.	تحت مملكة النباتات الثالوسية-النباتات اللاجنينية
Division Algae - diatoms, algae, and seaweeds.	قسم الطحالب-الدياتومات، الطحالب والأعشاب البحرية
Division Fungi-bacteria and fungi.	قسم الفطريات-البكتيريا والفطريات
Sub-Kingdom Embryophyta - plants forming an embryo.	تحت مملكة النباتات الجنينية-النباتات المكونة للأجنة
Division Bryophyta - mosses and liverworts.	قسم الحزازيات-الحزازيات الكبدية القائمة والمنبطحة
Division Tracheophyta - plants with vascular tissue.	قسم النباتات الوعائية-نباتات لها انسجة وعائية
Subdivision Psilopsida - simple rootless plants.	تحت قسم بسيلوبسيدا-نباتات لاجذرية بسيطة
Subdivision Lycopsida - club mosses and scale trees.	تحت قسم ليكوبسيدا-حزازيات صولجانية وأشجار ذات حراشيف
Subdivision Sphenopsida -horsetails and their relatives.	تحت قسم سفينوبسيدا-ذيول الحصان واقاربها
Subdivision Pteropsida - ferns, cycads, conifers, and flowering plants.	تحت قسم بتيروبسيدا-سراخس ونباتات سيكادية وصنوبريات ونباتات مزهرة
Class Filicineae - ferns.	طائفة فيليسينات - السراخس
Class Gymnospermae - cone - bearing plants.	طائفة عاريات البذور - نباتات حاملة للمخاريط
Order Pteridospermales - seed ferns.	رتبة بتيريدوسبرمات - سراخس بذرية
Order Cycadeoidales (Bennettitales) - cycadeoids.	رتبة بنيتالات - نباتات شبه سيكادية

Order Cycadales - cycads.	رتبة سيكادات - نباتات سيكادية
Order Cordaitales - the early conifers.	رتبة كورديتالات - المخروطيات المبكرة
Order Ginkgoales- ginkgos or maidenhair trees.	رتبة جنجولات - نباتات جنجوية او اشجار شعر البنات
Order Coniferales - pines , junipers , and firs.	رتبة المخروطيات - صنوبرية، عرعرية وتنوم
Class Angiospermae - flowering plants and hardwoods.	طائفة كاسيات البذور - نباتات زهرية وصلبة الخشب
Subclass Dicotyledoneae - oaks , roses , maples.	طويئفة ذات الفلقتين - بلوط، ورود، أسر
Subclass Monocotyledoneae - grasses , lilies , palms.	طويئفة ذات الفلقة الواحدة - حشائش - زنبقانيات، نخيل

Kingdom Animalia (Animals).	**المملكة الحيوانية (الحيوانات)**
Phylum Protozoa - foraminifers , radiolarians.	شعبة الأوليات - المثقبات، الشعاعيات
Class Sarcodina - one - celled animals with pseudopodia.	طائفة اللحميات - حيوانات وحيدة الخلية ذات اقدام كاذبة
Order Foraminifera - foraminifers or " forams ".	رتبة المثقبات - الفورامنيفرا
Order Radiolaria - radiolarians.	رتبة الشعاعيات - الراديولاريا
Phylum Porifera - sponges.	شعبة المساميات - الإسفنج
Phylum Coelenterata - corals , jellyfishes , hydroids.	شعبة الجوفمعويات - المراجين - الأسماك الهلامية، الهدريات
Class Hydrozoa - hydroids.	طائفة الحيوانات الهدرية - الهدريات
Class Scyphozoa - jellyfishes.	طائفة الحيوانات القنجانية - الأسماك الهلامية (قناديل البحر)
Class Anthozoa - corals and sea anemones.	طائفة الأنثوزوات او الزهريات - المراجين وحيوانات البحر

Phylum Platyhelminthes - flatworms.	شعبة الديدان المفلطحة
Phylum Nemathelminthes - roundworms.	شعبة الديدان الأسطوانية (الخيطيات)
Phylum Trochelminthes - rotifers.	شعبة الحزازانيات- الدوارات العجليات
Phylum Bryozoa - moss animals " or " sea mats ".	شعبة البريوزوا-الحيوانات الطحلبية-حصير البحر
Phylum Brachiopoda - lamp shells " or brachiopods.	شعبة المسرجانيات-الأصداف المصباحية
Class Inarticulata - brachiopods with unhinged valves.	طائفة المسرجانيات غير المفصلة
Class Articulata brachiopods with hinged valves.	طائفة المسرجانيات المفصلة
Phylum Mollusca - molluscs : clams , snails, squids.	شعبة الرخويات-المحاريات -القواقع-السكويدات (الحبارات)
Class Amphineura - chitons or " sea - mice " or " coat - of mail " shells.	طائفة مزدوجة العصب-الكيتونات-فأر البحر
Class Scaphopoda - "tusk - shells ".	طائفة زورقية الأقدام-الأصداف السنية (الناببية) كبيرة الأسنان
Class Pelecypoda - clams , mussels , oysters , and scallops.	طائفة المحاريات-المحاريات-الأويستر-الموسيلات
Class Gastropoda - snails , slugs , and conches.	طائفة البطنقدميات-القواقع-البزاقات-الأصداف
Class Cephalopoda- squids, octopuses,the pearly nautilus, and the extinct ammonoids.	طائفة الرأسقدميات-الحبارات - الأخطبوط-النوتيلات اللؤلؤية-الأمونويدات المنقرضة
Subclass Nautiloidea - nautiloids.	طويئفة النوتيلويدات

Subclass Ammonoidea - ammonites.	طويئفة الأمونويدات
Subclass Coleoidea (Dibranchia)- squids, octopuses,cuttlefish, and the extinct belemnoids.	طويئفة ثنائية الخياشيم-الحبار-البليمنويدات المنقرضة
Order Belemnoidea (Belemnitida) - belemnites.	رتبة البليمنويدات
Phylum Annelida - earthworms , leeches.	شعبة الحلقيات-ديدان الأرض-العلقيات
Phylum Arthropoda - crabs , shrimps , insects , spiders , ostracods , and the extinct trilobites and eurypterids.	شعبة المفصليات-السرطانات-الروبيان (الجمبري)-الحشرات-العنكبوت-الأستراكودا-ثلاثية الفصوص ومتسعة الأجنحة المنقرضة
Sub- phylum Trilobitomorpha - extinct trilobite - like arthropods	شعيبة الترايلوبيتات (ثلاثية الفصوص)-مثل ثلاثية الفصوص المنقرضة شبيهة المفصليات
Class Trilobita - trilobites.	طائفة ترايلوبيتا-ثلاثية الفصوص
Sub- phylum Chelicerata (*) - scorpions , spiders, mites, "horseshoe" or " King crabs ", and the extinct eurypterids.	شعيبة الكلابيات-العقارب-العنكبوت-ملك السرطان (الحلم)
Class Merostomata - "King crabs " and eurypterids.	طائفة فخدية الفم-ملك السرطان-متسعة الأجنحة
Order Eurypterida - eurypterids.	رتبة متسعة الأجنحة
Class Arachnida - scorpions , spiders and ticks.	طائفة العنكبيات-العقارب-العنكبوت والحلم
Sub- phylum Crustacea - crayfish , crabs , lobsters.	شعيبة القشريات-السرطانات-اللوبستر
Class Ostracoda - ostracodes.	طائفة الأستراكودا

* The subphyla of Arthropoda are considered to be classes by some authorities. — بعض علماء التصنيف يعدون شعيبة المفصليات على انها طائفة

Sub- phylum Insecta - insects.	شعبة الحشرات
Phylum Echinodermata - "sea lilies" sea - cucumbers , starfishes , sea - urchins.	شعبة الجلد شوكيات-زنابق البحر-خيار البحر-نجوم البحر
.Sub- phylum Palmatozoa - cystoids , blastoids , and crinoids	شعبة الحيوانات الريشية-الحوصليات-البرعميات-الزنابق
Class Cystoidea - cystoids ,	طائفة الحوصليات
Class Blastoidea - blastoids or " sea buds ".	طائفة البرعميات-براعم البحر
.Class Crinoidea "sea lilies " and " feather stars "	طائفة الزنبقانيات-زنابق البحر
Sub- phylum Eleutherozoa - sea -cucumbers , starfishes , sea - urchins .	شعبة المتناظرات-خيار البحر-أسماك النجوم
Class Asteroidea - starfishes.	طائفة النجمانيات-النجميات -النجوم الهشة
Subclass stellexoidea - starfishes and " brittle .stars "	طويئفة النجميات
Subclass Ophiuroidea " brittle stars" and " serpent stars".	طويئفة الثعبانيات-النجوم الهشة-ثعابين النجوم
Class Echinoidea - sea - urchins , heart - urchins , and sand dollars.	طائفة القنفذانيات-قنافذ البحر-القنافذ القلبية
Class Holothuroidea - sea cucumbers.	طائفة الخياريات-خيار البحر
Phylum Chordata - graptolites , fish , amphibians , reptiles , birds , and mammals.	شعبة الحبليات-الجرابتوليتات-الأسماك-البرمائيات-الزواحف-الطيور-الثدييات
Sub- phylum Hemichordata - chordates with pre - oral notochord.	شعبة نصف الحبليات - حبليات بحبل ظهري قبل فمي

Class Graptolithina (Graptozoa) - extinct graptolites .	طائفة الجرابتوليتات -الجرابتوليتات المنقرضة
Sub- phylum Vertebrata - vertebrates :animals with a vertebral column.	شعيبة الفقاريات-الفقاريات-الحيوانات ذات العمود الفقرى
Superclass Pisces - fishes.	فوق طائفة الأسماك-الأسماك
Class Agnatha - lampreys and hagfishes .	طائفة عديمة الفكوك-سمك الجلكا-سمك الجريث المفترس
Class Placodermi - placoderms.	طائفة الأسماك المدرعة
Class Chondrichthyes - sharks , rays , and skates .	طائفة الأسماك الغضروفية-سمك القرش-سمك الشفنين-السمك المفلطح
Class Osteichthyes - bony fishes : perch , catfish , trout , eel .	طائفة الأسماك العظمية-الأسماك العظمية-قط السمك-ثعبان السمك
Superclass Tetrapoda - amphibians , reptiles , birds , and mammals.	فوق طائفة رباعيات الأقدام-البرمائيات-الزواحف-الطيور-الثدييات
Class Amphibia - salamanders , frogs , toads .	طائفة البرمائيات-السلمندر-الضفادع
Class Reptilia - lizards , snakes , turtles , crocodiles , and the extinct dinosaurs , plesiosaurs , ichthyosaurs , mosasaurs , and ptero - saurs .	طائفة الزواحف-السحالي-الثعابين-التماسيح-الديناصورات المنقرضة
Order Cotylosauria - cotylosaurs.	رتبة القطاليات كأسية الشكل - العَظَايا (الزواحف)
Order Chelonia - turtes and tortoises.	رتبة السلاحف - السلاحف
Order Pelycosauria - extinct fin or sail - back reptiles.	رتبة الزواحف الشراعية-الزواحف ذوات الزعانف المنقرضة
Order Therapsida - therapsids , or theromorpha.	رتبة ثيرابسيدا

Order Ichthyosauria - ichthyosaurs.	رتبة الزواحف السمكية-إكثيصور
Order Sauropterygia - extinct marine reptiles with paddle - like flippers.	رتبة الزواحف البحرية المنقرضة ذات المجاديف
Suborder Plesiosauria - Plesiosaurs.	رتيبة بليسيوصوريا-البليسيوصورات
Order Squamata - lizards and snakes.	رتبة الحرشفيات - السحالى والثعابين
Order Thecodontia - thecondonts.	رتبة كيسيات الأسنان
Suborder Phytosauria - phytosaurs.	رتيبة فيتوصوريا-الفيتوصور
Order Crocodilia - crocodiles , alligators , and gavials .	رتبة التمساحيات-التماسيح، الُيجاتور (تمساح امريكا) والغريال
Order Pterosauria - flying reptiles.	رتبة الزواحف الطائرة
Order Saurischia - lizard - hipped dinosaurs.	رتبة الدينوصورات شبيهة السحالى
Suborder Theropoda - bipedal carnivorous dinosaurs.	رتيبة الدينوصورات آكا ? اللحم ذات القدمين
Suborder Sauropoda - quadrupedal , primarily herbivorous dinosaurs.	رتيبة الدينوصورات آكلة العشب ذوات الأربع
Order Ornithischia - bird - hipped dinosaurs.	رتبة الدينوصورات شبيهة الطيور
Suborder Ornithopoda - duck - billed dinosaurs.	رتيبة الدينوصورات ذات المنقار
Suborder Stegosauria - plated dinosaurs.	رتيبة الدينوصورات المسطحة
Suborder Ankylosauria - armoured dinosaurs.	رتيبة الدينوصورات المدرعة
Suborder Ceratopsia - horned dinosaurs.	رتيبة الدينوصورات المقرنة
Class Aves - birds.	طائفة الطيور

Class Mammalia - mammals : opossum , bats , rodents , dogs , whale , horse , man.	طائفة الثدييات - الأبسوم - الخفاش - القوارض - الكلب - الحوت - الحصان - الإنسان
Subclass Allotheria - multituberculates.	طويئفة الثدييات عديدة النتوءات
Order Multituberculata - small primitive-rodent - like mammals.	رتبة عديدة النتوءات - قوارض بدائية تشبه الثدييات
Subclass Theria - most of the living mammals.	طويئفة المشيميات - معظم الحيوانات الموجودة
Order Insectivora - insectivores.	رتبة آكلات الحشرات
Order Primates - lemurs , monkeys , apes , man.	رتبة الرئيسيات - الليمور - النسانيس، القرود والإنسان
Order Edentata - tree sloths , armadillos.	رتبة عديمة الأسنان-حيوان الكسلان الشجري - المدرع
Order Carnivora - flesh- eating mammals : dogs , cats , seals.	رتبة الثدييات آكلات اللحوم - الكلاب - القطط - الفقمة
Order Dinocerata - extinct uitatheres.	رتبة دينوسيراتا-الأنواع المنقرضة
Order Proboscidea - elephants , extinct mastodonts , mammoths . and woolly......	رتبة الخرطوميات-الأفيال-الماستودونت المنقرض والماموث
Order Perissodactyla - horses , rhinoceroses , extinct titano theres.	رتبة فردية الحافر-الحصان - وحيد القرن - التيتانو ثيرس المنقرض
Order Artiodactyla - pigs , deer , camels , extinct enteiodonts.	رتبة فردية الحافر - الخنزير - الغزال - الجمل - الأيايل المنقرضة

معجم المصطلحات الچيولوچية
المستعملة فى الكتاب

GLOSSARY OF USED TERMS

- A -

ا ا **a a**

مـصطلح بلغـة أهل جـزر هاواى لوصف انسـيـابات اللابة البازلتية الكتلية التى تتميز بأسطح خشنة مجمدة.

سَحْج **abrasion**

عملية البرى بفعل الاحتكاك

إبرى **acicular**

شبيه بالإبرة.

صخور حمضية **acidic rocks**

مصطلح عام يستخدم للدلالة على الصخور النارية المحتوية على الكوارتز، مثل الجرانيت.

ألماسى **admantine**

بريق يشبه بريق الألماس.

ريحى **aeolian**

وصف للدلالة على المواد المترسبة بالرياح التى جلبت جسيماتها من مكان ما، ومثالها رواسب الطيس loess وكثبان الرمال.

طحالب **alage**

مجموعة غير متجانسة من الكائنات الحية حقيقيات النوى، وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا أو تكوّن مستعمرات وتحيا عادة بالبناء الضوئى.

---

* المصطلحات المستخدمة فى هذا الكتاب هى التى أقرها ووافق عليها مجمع اللغة العربية بالقاهرة، وكذلك المؤتمرات للجمعية السنوية التى تضم أعضاء من مجامع اللغة العربية على مستوى العالم العربى.

مروحة طميية **alluvial fan**

راسب يتوضع من مجرى ينساب في واد جبلي منحدر ويدخل في أرض مستوية نسبيا.

طمي **alluvium**

راسب يتوضع من المياه الجارية.

مثلجة ألبية **Alpine glacier**

نهر من الجليد يشغل منخفضا في سلسلة جبلية، ويتحرك في اتجاه مستوى أكثر انخفاضا ؛ وتسمى أيضا مثلجة جبلية أو واديا مثلجيا

ارتفاع **altitude**

ارتفاع فوق مستوى سطح البحر.

كهرمان **amber**

بقايا نباتية متحجرة (راتينجات)، صلبة صفراء شبه شفافة.

أمونيت **ammonite**

أمونويد من الرأسقدميات له خطوط درز متعرجة ومعقدة، ويتبع تحت طائفة أمونويديا **Ammonoidea**.

عديم التبلور **amorphous**

مادة ليست لها بنية جزيئية محددة ؛ أي أنها عديمة التبلور.

برمائي **amphibian**

حيوان يعيش في الماء وعلى البر، مثل الضفادع والسلمندر.

لوزات **amygdales**

فجوات أو فراغات مملوءة بالغاز توجد في الصخور النارية، وقد تمتلئ بمعادن ثانوية.

تشريح **anatomy**

البنية التى يتكون منها الكائن الحى، أو أجزاؤها.

لا توافق زاوىّ **angular unconformity**

انظر: لا توافق **unconformity**.

أنهيدريت **anhydrite**

كبريتات الكالسيوم اللامائية ($CaSO_4$).

أمامى **anterior**

يوجد فى المقدمة أو من أمام.

أنثراسيت **anthracite**

فحم صلب نقى جدا.

أنثروبولوجيا **anthropology**

علم دراسة الإنسان، وبخاصة طبيعته الفيزيقية وكذلك الأساليب التى أدت إلى تطوره.

حنيرة **anticline**

طية محدبة إلى أعلى فى الصخور.

حنيرة مركبة **anticlinorium**

قبة حنيرية عريضة توجد فيها صدوع وطيات صغيرة.

فُتحة (فُرْجة) **aperture**

فتحة الصدفة أو الخلية وما شابه ذلك.

نسيج دقيق **aphanitic**

وصف النسيج الدقيق التى لا يمكن رؤية البلورات المكونة لها بالعين المجردة فى الصخور.

مَكْمن **aquifer**

تكوين صخرى مسامى حامل للماء.

اراجونيت **aragonite**

معدن تركيبه كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ يتبلور فى نظام المعينى القائم. ويكون المعدن فى الأصداف معتما وطباشيريا ؛ وأقل ثباتا من معدن الكالسيت.

قديم **archaeo -**

بادئة معناها قديم وأصل الكلمة إغريقى ***Archaios*** . قديم.

أركيوزوى **Archaeozoic**

أقدم حقب جيولوجى معروف؛ وهو حقب ما قبل الكمبرى المبكر.

مِسَاحى **areal**

نسبة إلى المساحة **area** (مثل الجيولوجيا المساحية **areal geology**، وهى جيولوجية منطقة معينة).

رملى **arenaceous**

صفة للرمل تختص بالتسيج أو بصفات حجم حبيبة الرمل (٢ - ١/١٦مم).

حاجز **arêt**

حيد حاد يفصل بين دارتين أو وديان مثلجية.

طينى **argillaceous**

راسب حجم حبيباته أقل من ١/١٦ مم.

اصطناعيات **artefacts**

أدوات أو أشياء صنعها الإنسان.

بئر ارتوازية **artesian well**

بئر يستخرج منها الماء الموجود فى مكمن ما يعلوه طبقات غير منفذة.

معشقة **articulated**

جزآن يتصل أحدهما بالآخر بأسلوب تداخلى أو بواسطة أسنان تدخل فى تجاويف.

نجمية **asterism**

نمط يشبه النجم يوجد فى معادن معينة.

كويكب **asteroid**

أحد الأجرام الصغيرة الكثيرة التى توجد بين مدارى كوكبى المشترى والمريخ.

عديم التماثل **asymmetrical**

بنية تفتقد التماثل.

حنيرة (طية) عديمة التماثل **asymmetrical fold**

طية يميل كل طرف من طرفيها بزاوية مختلفة.

غلاف جوى **atmosphere**

الهواء الذى يحيط بالأرض.

وضع **attitude**

وضع جزء من طبقة صخرية بالنسبة إلى المستوى الأفقى

انظر: الميل **dip** والمضرب **strike**.

محور **axis**

أحد الخطوط التخيلية فى البلورة.

محور (الحنيرة) الطية **axis of fold**

خط تخيلى يمر خلال قمة الحنيرة، أو قاع القعيرة.

- B -

barchan — **برخان**

كثيب رملى هلالى الشكل.

barrier beach — **شاطئ حاجزى**

شاطئ رملى منخفض يفصله عن البر مستنقع أو لاجون.

basalt — **بازلت**

صخر نارى دقيق التحبب قاعدى طفحى.

base level — **مستوى القاعدة**

مستوى الجسم المائى الذى ينساب فيه ماء النهر.

basic rock — **صخر قاعدى**

صخر نارى يحتوى على نسبة قليلة من السليكا، مثل صخر البازلت.

batholith — **باثوليث**

كتلة نارية من صخر نارى متدخل، أرضيتها غير معلومة، ويزيد قطرها على أربعين ميلا.

bauxite — **بوكسيت**

الخام الرئيسى للألومنيوم وتركيبه الكيميائى أكسيد الألومنيوم المائى.

bedding plane — **مستوى تطبق**

السطح الفاصل بين طبقتين أو طبيقتين أو سطيحتين صخريتين منفردتين.

الأساس الصخرى **bedrock**

صخر صلب متماسك، غير مجوى، يوجد أسفل الوشاح الصخرى.

بلمنيت **belemnite**

من الرأسقدميات المنقرضة قريبة من الحبار **squid** الموجود حاليا.

تماثل ثنائى جانبى **bilateral symmetry**

مصطلح يطلق على نصفين لجسم ما، يتماثلان بحيث يكون أحد النصفين صورة المرآة للنصف الآخر.

تسمية ثنائية **binomial nomenclature**

نظام للتسمية العلمية للكائنات الحية يتطلب تحديد اسمين لاتينيين: اسم الجنس **generic** واسم النوع **specific** مثل ***Homo sapiens*** للإنسان.

القانون الحيوى **biogenic law**

قانون ينص على أن تاريخ تطور الكائن الحى **ontogeny** يعيد تاريخ تطور السلالة **phylogeny**.

بيوتيت **biotite**

ضرب من الميكا يوجد على هيئة بلورات دكناء (سوداء عادة).

انكسار مزدوج **birefringence**

خاصية بصرية تنشأ عن انشقاق شعاع الضوء إلى شعاعين فى بعض المعادن المتبلورة مثل معدن الكالسيت، باستثناء المعادن الأيزوتروبية.

فحم بتيومينى **bituminous coal**

فحم رخو ذو رتبة متوسطة فى سلسلة الفحم.

ضـوء أسـود **black light**

ضوء ينتج عن الإشعاع فوت البنفسجى (فوق البنفسجى).

برعمانى **blastoid**

فرد من طائفة الجلدشوكيات الجالسات، تكون الدرقة فيه على هيئة برعم، يتكون عادة من ثلاثة عشر لوحا هيكليا.

رسم تخطيطى كتلى **block diagram**

رسم تخطيطى ثلاثى الأبعاد يجمع العلاقة بين الجيولوجيا السطحية والبنية الأمامية والبنية الجانبية لمنطقة ما.

جبال كتلية **block mountains**

جبال تكونت نتيجة عمليات التصدع.

منخفضات تحاتّ **blow-out**

منخفضات حوضية الشكل، صغيرة نسبيا تكونت نتيجة عمليات التحات بالرياح.

جُلمود **boulder**

كِسرة صخرية مستديرة تقريبا يزيد قطرها على عشر بوصات.

مسرجانيات **brachiopods**

لا فقاريات بحرية ثنائية المصراع.

ماء مَسُوس **brackish water**

خليط من المياه العذبة والمياه المِلحة.

بَريشة **breccia**

صخر يتكون من كسر زاوية الشكل متلاحمة.

تقصف **brittleness**

قابلية المعدن للكسر بسهولة.

حزازانيات **bryozoans**

حيوانات مائية صغيرة، تعيش فى مستعمرات، تفرز هيكلا جيريا فى العادة.

- C -

كاينو **caino-**

بادئة معناها حديث، والكلمة من أصل إغريقى ***Kainos*** = **new**.

كاينوزوى **cainozoic**

أحدث أحقاب التاريخ الجيولوجى، وهو يلى حقب الحياة المتوسطة ويمتد حتى العصر الحديث.

جيرى **calcareous**

يحتوى على، أو يتكون من كربونات الكالسيوم.

كالسيت **calcite**

معدن تركيبه كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، يتبلور فى نظام الثلاثى ويكون فى الأصداف شبه شفاف وأكثر ثباتا من معدن أراجونيت **aragonite**.

كالديرا **caldera**

منخفض كبير، حوضى الشكل، يتكون نتيجة لتحطم المخاريط البركانية.

كـأس **calyx**

المنخفض الذى يشبه الفنجان فى المراجين، ويوجد فى الجـزء العلوى من الهـيكل؛ وهو جزء الجسم الذى يحتوى على معظم الأجزاء الرخوة فى الجلدشوكيات الجالسات.

كمبرى **Cambrian**

اول أدوار حقب الحياة القديمة (أقدمها).

كربونى **carbonaceous**

يحتوى على الكربون.

كربونات **carbonate**

صخر أو معدن يتكون من الكربون والأكسجين وعناصر أخرى.

كـربونى **Carboniferous**

خامس الأدوار الجيولوجية فى حقب الحياة القديمة، كما هو معروف فى أوربا. ويشمل الميسيسبى **Mississipian** والبنسلفانى **Pennsylvanian** فى امريكا الشمالية.

تكربن **carbonization**

عملية التحفر التى يتم فيها تغير البقايا العضوية إلى كربون أو فحم.

لاحِمٌ **carnivore**

حيوان آكل للحوم.

صبّة **cast**

الأثر أو الطابع الذى يؤخذ من القالب **mould**.

أسمنت **cement**

مواد تربط (تلحم) جسيمات الصخور الرسوبية بعضها ببعض.

سمنتة **cementation**

ترسيب مواد معدنية بين كسر الصخور تلحمها بعضها ببعض.

سين **cene -**

لاحقة تعنى حديث، وهى مشتقة من أصل إغريقى *kainos*.

رأس **cephalon**

الجزء الأمامى الذى يكوّن الرأس من جسم الحيوان فى الترايلوبيتات.

رأسقدميات **cephalopod**

لا فقاريات بحرية لها رأس محدد جيدا، وعيون ولوامس **tentacles** حول الفم وتتبع شعبة الرخويات **mol-lusca** وتشمل الحبار **squid** والأخطبوط **octopus** والنوتيلات اللؤلؤية **pearly nautilus**.

سيراتيت **ceratite**

أمونويد من الرأسقدميات خط الدرز فيه سرج مستدير وفص متعرج.

طباشير **chalk**

حجر جيرى رخو لونه أبيض.

تجوية كيميائية **chemical weathering**

ضرب من التجوية ينتج عنه تغير فى التركيب الكيميائى، وتعرف أيضا باسم التحلل **decomposition**.

صوان **chert**

ضرب من السليكا متبلور مدموج شبيه بالفلنت (الظرّان).

كيتين **chitin**

مادة قرنية توجد فى الأجزاء الصلبة فى كل الحيوانات المفصلية مثل الخنافس beetles والسرطانات crabs.

كيتينى **chitinous**

يتكون من الكيتين.

كلوريت **chlorite**

معدن أخضر اللون يتبع مجموعة معادن الميكا من الناحية الكيميائية.

كروموسوم **chromosome**

فى نوى الخلايا العضوية، هى تحمل الجينات التى تقرر الصفات الموروثة. ويوجد فى كل خلية جسمية وكل زيجوت زوج من الكروموسومات، ويوجد كروموسوم واحد فى كل جاميت.

مخروط الرماد **cinder cone**

مخروط ذو جوانب منحدرة بشدة تتكون أساسا من الرماد الناشئ عن عمليات بركانية.

دارة **cirque**

منخفض كبير وعميق نوعا، بشكل المدرج amphitheatre يوجد عند رأس وادٍ مثلجى.

طائفة **class**

أحد أقسام الشعبة phylum، وهى قسم من التصنيف الأحيائى.

صخر فتاتى **clastic rock**

صخر يتكون أساسا من كسر صخرية نقلت إلى مكان توضعها.

تشقق = تفلُّق **cleavage**

قابلية معادن معينة للانفصال فى اتجاهات خاصة فتنشأ عن ذلك أسطح ملساء نسبيا.

سهل ساحلى **coastal plain**

سهل مستو يتكون من رواسب لها ميل لطيف رسبتها الأمواج او الأنهار، وتكون حافتها على سِيف **shore** جسم مائى كبير؛ وفى العادة يمثل جزءا منكشفا من أرضية البحر التى ارتفعت حديثا.

جوفمعوى **coelentrate**

لا فقارى يتميز بوجود تجويف جسمى خالٍ وتماثل شعاعى وخلايا لاسعة. وتتبع شعبة الجوفمعويات وتشمل الأسماك الهلامية (قناديل البحر) **jellyfishes** والمراجين **corals**.

مضيق **col**

ثُغرة بشكل السرج توجد عبر حيد أو بين قمتين.

مُستَعْمَرى **colonial**

فى البيولوجيا: مصطلح يطلق على الطريقة التى تعيش فيها بعض اللافقاريات فى تجمعات بعضها مع بعض، ويعتمد كل منها على الآخر تقريبا، مثل مستعمرات المراجين والهدريات.

قرص جذعى **columnal**

إحدى القطع القرصية الشكل فى جذع الزنبقانيات **crinoid**.

قطاع عمودي **columnar section**

شكل توضيحي يرسم بمقياس محدد ويوضح صفات التكاوين الصخرية برموز جيولوجية مثل سمك الطبقات وتتابع تراكمها.

بنية عمدانية **columnar structure**

بنية من قضبان متوازية توجد فى الصخور النارية.

مدموج **compact**

متماسك بشدة.

دُمُوج **compaction**

العملية التى تتصلب بها الرواسب السائبة **loose** لتتماسك مع بعضها البعض فتصبح صخرا متصلبا.

مخروط مركب = بركان طباقى **composite cone = stratovolcano**

مخروط بركانى يتكون من طبقات متبادلة من اللابة والرماد البركانى.

متمركز **concentric**

بمعنى أن له مركزا مشتركا مثل الصدفة التى توجد فيها علامات توازى حافتها.

محارى **conchoidal**

نوع من المكسر **fracture** فى المعادن. يكون لسطح المعدن عند كسره شكلا مقعرا منحنى مشابها لمصراع واحد من صدفة ثنائية المصراع. ويعد الزجاج من الأمثلة الممتازة التى توضح المكسر المحارى.

درنة صخرية **concretion**

تجمع من الكتل الحبيبية أو غير المنتظمة، يوجد فى الصخور الرسوبية، ويترسب حول نواة مركزية عادة قد تكون حفرية فى أغلب الأحوال.

كنجلوميرات — **conglomerate**

صخر ينشأ عن دموج الجرول gravel، وتكون المكونات الصخرية والكسر المعدنية ذات حجوم وتراكيب متباينة.

صنوبريات — **conifers**

شجر أو شجيرات تحمل مخاريط cones.

ماء حبيس — **connate water**

الماء المحصور فى الصخر الرسوبى عند زمن تكونه.

كونودونت — **conodont**

حفريات دقيقة تشبه الأسنان توجد فى صخور معينة من حقب الحياة القديمة، أصلها غير معروف بالضبط، لكنها ربما تكون أجزاء من بعض أنواع الأسماك المنقرضة.

تَصَلُّب — **consolidation**

العملية التى يتغير فيها الراسب من الحالة السائبة إلى كتلة متصلبة.

سطح تماس — **contact**

السطح الذى يوضح الاتصال بين جسمين صخريين.

تحول بالتماس — **contact metamorphism**

تحول ينشأ نتيجة تدخل مواد من جسم نارى فى الصخور أو بالقرب من حدود الصخور فى منطقة ما.

انجراف قارى — **continental drift**

نظرية تقول إن القارات كانت جزءا واحدا هو قارة جندوانا القديمة التى انقسمت إلى أجزاء منفصلة انجرف بعضها عن بعض.

رف قارى — **continental shelf**

أرضية المحيط الضحلة نسبيا التى تحد كتلة أرضية قارية.

منحدر قارى **continental slope**

الانحدار الشديد بين حافة الرف القارى وأغوار المحيط.

فاصل كنتورى **contour interval**

الفرق فى الارتفاع بين خطين كنتوريين متتاليين.

خط كنتور **contour line**

خط يصل بين نقط ذات ارتفاع واحد فوق مستوى سطح البحر.

كوبروليت (نجوٌ صخرى أو بقايا متحفرة) **coprolite**

إخراج تفرزه الحيوانات ثم يتحفر.

كوكينا **coquina**

حجر جيرى مسامى غليظ التحبب يتكون أساسا من مواد صدفية متكسرة.

مرجانيات **corals**

لا فقاريات بحرية تسكن القاع، وتفرز هياكل صلبة من مواد جيرية وتتبع طائفة الأنثوزوات (الزهريات) التى تتبع شعبة الجوفمعويات.

مرجانة **corallite**

هيكل يتكون بفعل فرد واحد من حيوان المرجان، وقد يوجد بمفرده أو يكون جزءا من مستعمرة.

مرجان **corallum**

هيكل كامل لمستعمرة مرجانية.

نواة **core**

أعمق نطاق فى الأرض وهو أعلاها كثافة.

مضاهاة **correlation**

عملية لبيان أن طبقات معينة تنتمى إلى طبقات أخرى أوتكافؤها استراتجرافيا.

كــورندم **corundum**

معدن تركيبه الكيميائى اكسيد الألومنيوم؛ وهو ثانى اشد المعادن صلابة.

فــوهة **crater**

منخفض قِمَعِيُّ الشكل يوجد فى قمة المخروط البركانى.

زحف **creep**

حركة بطيئة إلى أسفل تحدث للتربة والصخور السطحية.

طبــاشــيــرى **Cretaceous**

أحدث أدوار حقب الحياة المتوسطة.

شق جليــدى **crevasse**

شق عميق أو شدخ يوجد فى مثلجة.

علاقات القطع المتصالب **cross-cutting relationships**

قانون يوضح أن الصخر القاطع يكون أحدث عمرا من الصخر المقطوع.

قشرة **crust**

النطاق أو الغلاف الخارجى للأرض.

خَفِيُّ التبلور **cryptocrystalline**

صفة لمادة تكون بلوراتها دقيقة جدا أو ميكروسكوبية.

بلُّورة **crystal**

شكل هندسى منتظم عديد الأوجه، تحده أسطح ملساء طبيعية تتكون فى ظروف مناسبة. وللبلورات تماثل خارجى محدد، وبنية داخلية ترتبط بالترتيب الذرى.

متبلور **crystalline**

مادة لها بنية داخلية محددة وليست عديمة التبلور.

علم البلورات **crystallography**

علم يدرس بنية البلورات وتصنيفها وخصائصها الفيزيقية والكيميائية.

تماثل بلورى **crystal Symmetry**

يقصد به العدد والوضع والترتيب المتوازن للأوجة البلورية بالنسبة إلى المحاور البلورية أو المستويات البلورية أو اتجاهاتها.

مكعب **cube**

شكل بلورى فى النظام المتساوى الأبعاد (المكعبى)، يتكون من ستة أوجه، كل منها يتعامد على محور بلورى من المحاور الثلاثة للمكعب.

مكعبى **cubic**

له الشكل العام للمكعب، وتسمى البلورات المتساوية الأبعاد باسم النظام المكعبى.

كيسيات **cystoids**

نوع من الجلدشوكيات ذات الساق المنقرضة، يتكون الكاس **calyx** فيها من عدد من الألواح الموجودة بغير ترتيب منظم ؛ وهذا النوع ينتمى إلى طائفة الكيسيات.

- D -

تحلل **decomposition**

اضمحلال كيميائى أو تحلل للصخر.

انظر: التجوية الكيميائية

تذرية **deflation**

إزالة الأجزاء الصخرية السائبة أو التربة بواسطة الرياح.

تحرف **deformation**

أى تغير يطرأ على الشكل الأصلى للصخور، مثل الطى والتصدع.

دلتا **delta**

شكل مثلثى تقريبا من الرواسب المستوية تكونت نتيجة لدخول النهر فى جسم مائى ساكن.

شجيرى (متشجر) **dendrite**

شكل يشبه تفرع الشجرة ينتج على المعادن والصخور أو فى داخلها، ويتكون عادة نتيجة لتبلور أكاسيد المنجنيز.

شجيرى **dendritic**

ذو شكل متفرع أو بشكل الشجرة.

تسنُّن **dentition**

نظام أو ترتيب الأسنان الخاص بأى حيوان.

راسب **deposit**

أى شيء يترسب، مثل توضع راسب من مجرى مائى.

ترسيب **deposition**

عملية ترسيب أو توضُّع مواد صخرية من وسط مائع كالهواء والماء.

تجفيف **desiccation**

فقدان الماء من الرواسب.

فتاتى **detrital**

متكون من كسارة معدنية أو صخرية.

صخر فتاتى **detrital rock**

صخر رسوبى مستمد من مواد فتاتية لصخور أخرى ؛ ومثال ذلك الرمل والطين والجرول.

فتات **detritus**

كسارة صخرية متبقية عن تفكك الصخور القديمة.

ديفونى **Devonian**

رابع أقدم أدوار حقب الحياة القديمة وهو أحدث من الدور السيلورى وأقدم من الدور الكربونى.

ثنائى الزاوية **diagonal**

أى جسم ذو زاويتين.

ألماس **diamond**

كربون متبلور وهو أصلب مادة معروفة.

الشفافية النسبية **diaphenity**

وصف شفافية المعدن بأنها إما أن تكون شفافة أو شبه شفافة أو معتمة.

ثلمة **diastem**

انقطاع صغير للغاية فى ترسيب الصخور وهو يمثل مدة قصيرة جدا من الزمن الجيولوجى.

تشويه صخرى **diastrophism**

حركات تحدث فى القشرة الصخرية للأرض فتؤدى إلى تشوه الصخور والبنيات.

دياتوميت **diatomite**

راسب سيليسى يتكون من بقايا نباتات دقيقة الحجم تسمى الدياتومات.

دينوصور **dinosaur**

أى من المجموعة الكبيرة من الزواحف المنقرضة التى عاشت فى أثناء حقب الحياة المتوسطة فقط.

مـيـل **dip**

زاوية الميل بين مستوى التطبق للصخور ومستوىً أفقى حقيقى أو تخيلى.

لا توافق **disconformity**

انظر: لاتوافق **unconformity**.

تفكك **disintigration**

تفكك الصخور بالطرق الميكانيكية، وتعرف باسم التجوية الفيزيقية أيضا، أو التجوية الميكانيكية.

مُقَسَّم **dissected**

ما ينتج عن التقسيم إلى تلال ووديان بفعل عمليات التحات.

تقطير **distillation**

فى الحفريات : العملية التى يتم فيها إزالة المادة العضوية المتطايرة وترك الكربون المتبقى كدليل على وجودها.

اضطراب **disturbance**

واقعة بانية للجبال على نطاق إقليمى، وفى العادة تفصل بين دورين جيولوجيين.

مَقْسَم **divide**

حيد أو منطقة مرتفعة تفصل بين حوضى صرف متجاورين.

دولوميت **dolomite**

معدن يتركب من كربونات الكالسيوم والمغنسيوم $CaMg(CO_3)_2$.

قُبَّة **dome**

بنية مطوية تميل فيها الطبقات فى جميع الاتجاهات بعيدا عن المنطقة المركزية.

انكسار مزدوج **double refraction**

انظر: انكسار مزدوج **birefringence**.

مكتسحات **drift**

مواد تترسب من مثلجة.

دراملين **drumlin**

رابية مستطيرة من الحريث ذات سطح أملس.

قابل للسحب **ductile**

قابلية بعض المواد للسحب على هيئة أسلاك.

كَثِيب **dune**

تل أو حيد من الرمال تكون بفعل الرياح.

جُدَّة قاطعة **dyke = dike**

جسم صخرى نضدى الشكل، أصله نارى فى العادة ويقطع طبقات الصخور المحيطة.

- E -

زلزال **earthquake**

هزة فى القشرة الأرضية تحدث نتيجة لتشقق الصخور وحركتها أو بسبب هزات بركانية.

جلد شوكى **echinoderm**

لا فقارى بحرى له هيكل خارجى جيرى، وعادة يكون له تماثل خماسى شعاعى، ويتبع شعبة الجلدشوكيات التى تشمل : الكيسيات والبرعمانيات والزنبقيات ونجم البحر وقنافذ البحر.

قنفذ بحري **echinoid**

لا فقاري بحري يعيش على قاع البحر هائما، له هيكل خارجي مكون من ألواح جيرية تغطيها أشواك متحركة، ويتبع طائفة القنفذانيات.

إيكولوجيا **echology**

دراسة العلاقات الفيزيقية والبيولوجية للكائنات الحية.

فوران **effervescence**

تفاعل فوراني يحدث عندما يتفاعل معدن كربوناتي مع حمض.

جنين **embryo**

كائن حي في بداية مراحل نموه قبل أن يولد.

علم الأجنة **embryology**

فرع من البيولوجيا يختص بدراسة تكوين الأجِنّة وتطورها.

جنيني **embryonic**

وصف للمرحلة البدائية غير المتطورة لحيوان ما بعد مرحلة "بيضة.

نهاية ركام جليدي **end moraine**

انظر: ركام جليدي طرفي **terminal moraine**.

هيكل داخلي **endoskeleton**

البنية الداخلية التي تدعم حيوانا ما.

بيئة **environment**

كل ما يحيط بالكائن الحي من ظروف فيزيقية وكيميائية وعضوية.

ايوسين **Eocene**

قسم من حقب الحياة الحديثة، قدره العلماء بأنه كان منذ ٤٠-٥٠ مليون سنة مضت.

نقطة فوق المركز **epicenter**

نقطة أو خط يقع مباشرة فوق بؤرة الزلزال التى نشأ عندها الزلزال.

حُقْبة **epoch**

قسم من الزمن الجيولوجى ؛ وهو أحد اقسام الدور **period**.

حقب **era**

قسم من الزمن الجيولوجى يشمل دورا أو اكثر.

تجمع **erathem**

فى الاستراتجرافيا : الصخور التى تكونت خلال حقب من الزمن الجيولوجى.

تحات **erosion**

تآكُل وإزالة التربة وكسارة الصخور بفعل الرياح أو المياه أو الجليد.

صخر ضال (شارد) **erratic**

جلمود منقول بفعل نهر جليدى، يختلف فى تركيبه عن الأساس الصخرى الذى يوجد عليه الجلمود.

إسكر **esker**

حيد متعرج يتكون من رمال متطبقة وجرول، ترسبت من انهار تجرى خلال مثلجة أو أسفلها.

مصب النهر **estuary**

ملتقى النهر بالبحر، حيث يظهر تأثير المد والجزر.

تبخير **evaporation**

عملية يتغير فيها السائل إلى الحالة الغازية (البخارية).

مُتَبخر **evaporite**

راسب يتوضع بفعل الترسيب الكيميائي، مثل الملح الذى يترسب من المياه المشبعة بالملح.

تطور **evolution**

اصطلاح يطلق على العمليات التى تؤدى إلى تغير فى الكائنات الحية خلال أجيال متتابعة.

تقشر **exfoliation**

انفصال سطح الصخر إلى قشور أو رقائق نتيجة لعملية التجوية.

هيكل خارجى **exoskeleton**

هيكل خارجى أو غطاء صلب لحماية أجزاء الحيوان الرخوة وبخاصة فى اللافقاريات.

انكشاف **exposure**

مكشف ظاهر للصخر يظهر على السطح.

انظر: مكشف **outcrop**.

صخر نابط **extrusive rock**

صخر نارى نبط أو خرج إلى سطح الأرض فى حالة منصهرة ثم تصلب.

- F -

وَجْه **face**

وَحْدة السطح الخارجى فى البلورة.

سَحْنَة **facies**

نمط صخرى أو تتابع صخرى، ويقال سَحْنَة حوضية مثلا.

صدع **fault**

إزاحة للصخور على طول نطاق كسر.

بُريشة الصدع **fault breccia**

بُريشة تتكون على طول مستوى الصدع.

خط الصدع **fault line**

الخط الذى يقابل عنده مستوى الصدع سطح الأرض على طول امتداده.

مستوى الصدع **fault plane**

كسر فى الصخر حدث على امتداده عملية الحركة فى الصخور.

أخدور الصدع **fault scarp**

جرف صغير تكون على السطح على امتداد خط الصدع.

فونة **fauna**

مجموعة من الحيوانات (الحية أو الحفريات) توجد فى مكان معين فى زمن معين.

تتابع فونى **faunal succession**

تتابع من أشكال الحياة خلال فترة من التاريخ الجيولوجى، توضح أن الحياة خلال فترة زمنية تختلف عنها فى فترة سبقتها أو تلتها.

فلسبار **feldspar**

اسم لمجموعة من معادن السليكات المرتبطة بعضها ببعض، وتشمل الأرثوكليز والميكروكلين والسانيدين والبلاجيوكليز واللابرادوريت وغيرها.

خيط **fibre**

مَعْلَم دقيق ورفيق يشبه الخيط.

خيطى ليفى **fibrous**

وصف لما يتكون من الياف.

فتيل **filament**

خيط دقيق أو ليفة دقيقة.

فـتـيلى (خـيـطى) **filiform**

وصف لما يوجد على هيئة الخيط وكان رقيقا جدا.

تَفَـسُّخ **fissility**

قابلية صخور معينة لأن تنفصل إلى رقائق بسهولة على طول مستويات متوازية متلاصقة.

انشطار **fission**

انفصال جسم ما أو تقسيمه إلى جزئين أو اكثر.

فيورد **fiord**

أخدود عميق ضيق له جدران شديدة الانحدار يتكون بفعل فيضان الوديان الثلجية.

ظَرّان (فلِنْت) **flint**

صخر سيليسى عديم التبلور، لونه أدكن مطفأ فى العادة.

سهل فيضان **flood plain**

منطقة منخفضة تحد نهرا ما، وتغطيها مياه النهر فى حالة الفيضان.

فُلُورة **flora**

مجموعة من النباتات (الحية أو المتحجرة) توجد فى مكان معين وفى زمن معين.

fluorescence — **تَفَلْور (فَلْوَرَة)**

تضوء معدن ما خلال تعرضه إلى إشعاع غير مرئى مثل الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية (أشعة إكس).

fluvial deposit — **راسب طمــيـى**

راسب تكون من الترسيب فى الأنهار.

focus — **بؤرة**

نقطة فى داخل الأرض ينشأ عندها الزلزال.

fold — **طيـــة**

انثناء أو انحناء يحدث للصخور فى الظروف اللدنة.

folded mountains — **جبال مطوية**

جبال تتكون نتيجة عملية طى الصخور.

foliated — **مُـتَــوَرِّق**

صفة لصخر أو معدن يتكون من أشكال شبيهة بالأوراق الرقيقة، مثل الميكا.

foliation — **تورُّق**

البنية المتورقة (الرقائقية) فى الصخور المتحولة.

footwall — **الجدار السفلى**

الصخر الموجود أسفل الجدار المعلق فى صدع مائل.

feramen — **ثَقْب**

فى المرجانيات: فتحة فى المصراع العنقى قرب المنقار، حيث يمتد المصراع العنقى من خلال الصدفة.

foraminifera — **فورامنيفيرا**

حيوانات وحيدة الخلية ميكروسكوبية الحجم فى العادة لعبت دورا مهما فى ترسيب الصخور الجيرية، وهى من طائفة ساركودينا التى تتبع شعبة الأوليات.

تكوين **formation**

وحدة صخرية تفيد فى رسم الخرائط والتمييز والمضاهاة على أساس الصفات الليثولوجية.

حفرية **fossil**

بقايا أو آثار كائن حى دفن بأسباب طبيعية وحفظ فى صخور القشرة الأرضية.

انظر: حفرية مرشدة **guide fossil**.

حفرى **fossiliferous**

وصف لما يحتوى على بقايا عضوية متحفرة.

مَكْسر **fracture**

نسيج السطح المكسور حديثا فى عكس اتجاه التشقق فى المعادن، وقد يكون المكسر محاريا أو مستويا أو شظويا، أو غير ذلك.

صخر حُطَامِىّ **fragmental rock**

صخر تكون من قطع من معادن أو كِسَر من الصخور الأقدم التحم بعضها ببعض.

داخنات **fumaroles**

فتحات أو أعناق توجد فى مناطق بركانية وتتصاعد منها الغازات.

- G -

جابرو **gabbro**

صخر نارى غليظ التحبب يتكون أساسا من البلاجيوكليز والأرثوكليز والبيروكسين.

مَجَرَّة **galaxy**

نظام فلكى يتكون من آلاف الملايين من النجوم، مثل مجرة الطريق اللبنى.

معادن غُثَّة **gangue minerals**

المعادن قليلة القيمة الاقتصادية في خام ما.

جارنِت **garnet**

مجموعة من معادن السليكات المعقدة تميز صخورا متحولة معينة وقد تكوّن بلورات لونها أحمر كاملة الأوجه البلورية.

صخور المَعِدَة **gastroliths**

حصوات pebbles مستديرة الشكل ومصقولة جيدا توجد مصاحبة لبعض الزواحف المتحجرة ؛ وتسمى أحجار المعدة stomach stones.

بطنقدمى **gastropod**

واحد من اللافقاريات المائية أو البرية، وحيد المصراع، صدفته جيرية من النوع الملفوف، مثل الحلزون. وهو من طائفة البطنقدميات التى تتبع شعبة الرخْويات.

حَنِيرَة كبرى **geanticline**

انحناء إلى أعلى يحدث في القشرة الأرضية ويمتد مئات الأميال.

عداد جيجر **Geiger's counter**

جهاز يستخدم للكشف عن النشاط الإشعاعى.

جوهرة **gem**

حجر كريم مقطوع ومصقول.

چيمولوچيا **gemology**

العلم الذى يختص بدراسة الأحجار الكريمة.

حجر كريم **gemstone**

اسم يطلق على الأحجار الكريمة سواء أكانت مقطوعة أم مصقولة أو على حالتها الأولية قبل القطع والصقل.

چين **gene**

الوحدة البنائية الأساسية للوراثة التى تحدد العوامل الوراثية.

وراثى **genetic**

يختص للدلالة عن الأصل.

علم الوراثة **genetics**

قسم من البيولوجيا يختص بالوراثة واختلافاتها فى الكائنات الحية.

جنس **genus**

مجموعة من الأنواع القريبة بعضها من بعض فى الكائنات الحية. والجمع **genera**.

چيوكرونولوچيا **geochronology**

علم دراسة الزمن وعلاقته بالتاريخ الچيولوچى.

فجوة **geode**

فراغ فى الصخر شكله دائرى أو كروى، وفى العادة يُحشَّد هذا الفراغ ببلورات معدنية.

عمر چيولوچى **geologic age**

عمر جسم ما يعبر عنه بمصطلح الزمن الچيولوچى، مثال ذلك سرخسيات الدور الكربونى، ودينوصورات الدور الطباشيرى.

خريطة چيولوچية **geologic map**

خريطة توضح توزيع مكاشف الصخور، والبنيات، والرواسب المعدنية.

مدى چيولوچى **geologic range**

فترة دوام **duration** كائن حى معلوم خلال زمن چيولوچى معين، مثال ذلك : من الكمبرى إلى الحديث بالنسبة للمسرجانيات.

مقياس الزمن الچيولوچى **geologic - time scale**

سجل مجدول لتقسيمات تاريخ الأرض.

چيومورفولوچيا **geomorphology**

فرع من الچيولوچيا يختص بدراسة أشكال سطح الأرض؛ ودراسة تطور مظاهر السطح.

قعيرة عظمى **geosyncline**

طية مقعرة عظيمة فى القشرة الأرضية، يكون طولها فى العادة مئات الأميال وعرضها عشرات الأميال.

مِرْجَل أرضى (چيزر) **geyser**

ينبوع حار يفور على فترات ويخرج منه ماء ساخن وبخار.

چيزريت **geyserite**

راسب سيليسى يتكون حول فتحات المراجل الأرضية (الچيزرات) والينابيع الحارة.

مَثْلَجة **glacier**

كتلة من الثلج الذى أعيد تبلوره، تتحرك ببطء وإلى الأمام نتيجة لقوى الجاذبية.

زجـــاج **glass**

فى الجيولوجيا : صخر غير متبلور قصيف برد سريعا.

نسيج زجاجى **glassy texture**

نسيج غير متبلور كثيف مثل الموجود فى صخر الأبسيديان وأنواع معينة من الصخور البركانية الأخرى.

جلوكونيت **glauconite**

معدن لونه ضارب إلى الاخضرار، يتكون عادة فى البيئات البحرية وتركيبه الكيميائى سليكات مائية للحديد والبوتاسيوم.

نَيس **gneiss**

صخر متحول غليظ التحبب، تترتب فيه المعادن الحبيبية وتتبادل مع معادن أخرى سطائحية الشكل مما يعطيها مظهرا طبقيا، بدون أن تتكون فيها شستزة schistosity.

جونياتيت **goniatite**

من أمونويدات الراسقدميات، له خطوط درز تتكون من سروج مستديرة وفصوص زاوية، ويتبع تحت طائفة الأمونويدات.

أخدود **graben**

كتلة صخرية طويلة ضيقة انخسفت إلى أسفل بين صدعين.

مَمَال **gradient**

ميل طبقة نهر ما، يعبر عنها فى العادة بقدم / ميل.

جرانيت **granite**

صخر نارى متحبب يتكون أساسا من الكوارتز والفلسبار ويوجد فيه عادة الميكا أو الهورنبلند.

نسيج جرانيتى **granitic texture**

نسيج غليظ التحبب، يميز الصخور النارية المتدخلة intrusive.

نسيج حبيبى **granular texture**

نسيج يتميز بحبيبات متشابكة، متساوية الحجم ؛ مثل صخر الجرانيت.

جرابتوليت **graptolite**

كائن حى منقرض، كان يعيش فى مستعمرات فى البحر وكان له هيكل كيتينى صلب ويعتقد أنه ينتمى إلى شعيبة أشباه الحبليات **hemichordata** فى شعبة الحبليات.

صدع جاذبية **gravity fault**

انظر: صدع عادى **normal fault**.

رمل أخضر **greensand**

رمل أو حجر رملى يحتوى على معدن الجلوكونيت الأخضر اللون.

أرضية **groundmass**

أرضية من مواد متبلورة أو زجاجية توجد فيها البلورات الكبيرة فى الصخور الفرفيرية النارية.

ماء أرضى **ground water**

ماء تحت الأرض يوجد فى نطاق التشبع فى الجزء الأسفل من الوشاح الصخرى، ويسمى أيضا الماء تحت السطحى والماء تحت الأرضى.

حفرية مرشدة **guide or zone fossil**

حفرية لها مدى جيولوجى قصير وانتشار جغرافى واسع، ولذلك تستخدم حفرية مرشدة لتاريخ الصخور التى توجد فيها.

جبس **gypsum**

كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4.2H_2O$).

- H-

هيئة **habit**

الشكل المميز لبلورة معدن ما.

مكسر مُسَنَّن **hackly fracture**

خاصية معدن ينكسر ويكون سطح الكسر فيه غير منتظم ومسنن، مثل معدن النحاس.

مَهْوَى **hade**

الزاوية بين مستوى الصدع والمستوى الأفقى.

هاليت **halite**

ملح الطعام وتركيبه الكيميائى كلوريد الصوديوم $Na\ Cl$.

هيماتيت **hematite**

اكسيد الحديد Fe_2O_3 .

وادٍ معلَّق **hanging valley**

وادٍ رافدى يدخل الوادى الرئيسى عند ارتفاع أعلى من أرضية الوادى الرئيسى.

جدار معلَّق **hanging wall**

الصخور الموجودة فوق الجدار السفلى فى صدع مائل.

hardness **صلادة**

مقاومة الصخر أو المعدن للكسر أو الخدش.

hardness scale **مقياس الصلادة**

مقياس عيارى يستخدم لتعيين الصلادة النسبية للمعادن.

herbivore **عـــاشب**

حيوان يتغذى على النباتات.

hexa- **سِـتّـة**

بادئة معناها ستة six.

hexagonal **سداسى**

شكل له ستة أوجه وست زوايا ؛ نظام بلورى تكون الأوجه البلورية فيه مبنية على أربعة محاور متقاطعة، ثلاثة منها متساوية وتوجد فى المستوى نفسه وتتقاطع فى زوايا؛ والمحور الرابع يتعامد على المحاور الثلاثة وقد يكون أطول أو أقصر منها.

hinge line **خط مِفْصَلة**

فى المسرجانيات: حافة الصدفة حيث يتمفصل المصراعان، وفى المحاريات هو الحافة الظهرية للمصراع التى تتلامس باستمرارية مع المصراع المقابل.

historical geology **جيولوجيا تاريخية**

علم يبحث فى دراسة التاريخ الجيولوجى للأرض.

homologous structure **بِنْيَة مُتَشَاكِلَة**

بنيات أو أعضاء فى حيوانات مختلفة، لها البنية الأساسية نفسها لكنها تستخدم فى أغراض مختلفة.

خطاف **hook**

عمود منحنى.

هورنبلند **hornblende**

معدن من مجموعة الأمفيبول.

نتق **horst**

كتلة مرتفعة بين صدعين.

ينبوع حار **hot spring**

ينبوع يخرج منه ماء حار إلى سطح الأرض.

دورة هدرولوجية **hydrologic cycle**

عملية مستمرة يتبخر الماء فيها من البحر ليسقط على الأرض ثم يعود مرة أخرى إلى البحر.

الغلاف المائى **hydrosphere**

كل الماء الموجود على سطح الأرض أو فى الفراغات الموجودة تحت السطح.

- I -

العصر الجليدى **Ice Age**

دور البليستوسين فى الزمن الرابع من حقب الكاينوزوى؛ زمن التثلج العظيم.

قلنسوة جليدية **ice cap**

غطاء جليدى فى المناطق القطبية.

شرشف جليدى **ice sheet**

كتلة ضخمة على شكل رابية من الجليد المثلجى، تنتشر من المركز فى اتجاهات عديدة أو فى كل الاتجاهات.

إكثيصور **ichthysaur**

من الزواحف البحرية لحقب الحياة المتوسطة ويشبه الدلفين في شكله العام.

صخر ناري **igneous rock**

صخر تكون من اللابة أو من الصهارة.

توهج حــــراري **incadescence**

توهج مادة ساخنة.

مُكْتَنَف **inclusion**

كسرة من صخر أو معدن يحيط به صخر أو معدن آخر.

حــفــرية دليل **index fossil**

انظر: حفرية مرشدة **guide fossil**.

نهر مؤقت **intermittent stream**

نهر يجف مجراه جزءا من الوقت.

تَدَخُّل **intrusion**

صخر ناري، يندفع في صخور أخرى بالمنطقة وهو في الحالة المنصهرة.

صخر متدخل **intrusive rock**

صخر يندفع في صخور أقدم منه (وهو في حالة منصهرة)، ويكون ذلك في العادة على امتداد الصدوع أو الشقوق، والصخور المتدخلة لا تبلغ سطح الأرض، لكنها تتكشف على السطح نتيجة لعملية التعرية للصخور التي تعلو الصخور المتدخلة.

لا فقاري **invertebrate**

حيوان ليس له عمود فقري (شوكي).

متساوى القياس **isometric**

نظام بلورى تستند أشكاله البلورية إلى ثلاثة محاور متساوية تتقاطع فى زوايا قائمة.

متساوى السيزمية **isoseismal**

خط وهمى يصل بين النقط التى لها شدة موجة زلزالية متساوية ويسمى هذا الخط باسم خط السيزمية المتساوية.

خط تساوى السيزمية **iisoseismic line**

انظر: متساوى السيزمية **isoseismal**.

ايزوستاسية **isostasy**

حالة الاتزان العام للقشرة الأرضية.

نظائر **isotopes**

عناصر لها العدد الذرى نفسه، لكنها تختلف فى الوزن الذرى وبعض الصفات.

- J -

مَفْصل **joint**

كسر فى الصخور لا تصاحبه إزاحة على جانبى الكسر.

ميزان جولى - كراوس **Jolly-Kraus bal-ance**

ميزان زنبركى يستخدم لتعيين الوزن النوعى بصفة خاصة.

جوراسى **Jurassic**

الدور الأوسط فى حقب الحياة المتوسطة.

- K -

kame **كيم**

رابية صغيرة قِمَمية الشكل تتكون من الرمل المتطبق والجرول، وترسبت من نهر جليدى

kaolin **كـاولين**

صلصال أبيض أو ضارب إلى البياض ينتج عن تحلل الصخور التى تحتوى على كميات كبيرة من الفلسبار.

karst topography **طوبوغرافية الكارست**

طوبوغرافية غير منتظمة تتميز بفجوات تشبه البالوعات ووديان بلا أنهار وكهوف وأنهار تحت أرضية.

kettle **منخفض جليدى**

منخفض يشبه الحوض فى الانجراف الجليدى، يتكون عندما تذوب كتل مدفونة من الجليد الثلجى.

- L -

laccolith **لاكوليث**

كتلة كبيرة من الصخور النارية المتدخلة تشبه العدسة فى شكلها.

lacustrine deposits **رواسب بحيرات**

رواسب تتكون على قيعان البحيرات.

lamellar **رقائقى**

مرتب على هيئة ألواح رقيقة.

انزلاق أرضى **landslide**

الحركة السريعة نسبيا لكتل كبيرة من الصخور، والتراب إلى أسفل التلال أو الجبال.

صــاقل **lapidary**

قاطع وصاقل للأحجار الكريمة.

لُبَيـلات **lapilli**

كسر صغيرة من الصخور البركانية مستديرة أو غير منتظمة الشكل تقذف من البركان أثناء ثورانه.

جــانبى **lateral**

جانبى أو بجانب.

ركام مثلجى جانبى **lateral moraine**

حيد من الحريث مستطيل الشكل على امتداد الحافات الجانبية لمثلجة ألبية، ويُستمد معظمه من الركام السطحى المتساقط على المثلجة من جدران الوادى.

لاَبة **lava**

الصخور المنصهرة على سطح الأرض، وتخرج من باطنها.

قبـة لابِيـة **lava dome**

انظر: البراكين الدرعية **shield volcanoe**.

هضبـة لابيـة **lava plateau**

انظر: هضاب البازلت **plateau basalts**.

ليــاس **Lias**

اسم بديل للجوراسى الأسفل.

ليجنيت **lignite**

فحم بنى اللون ناعم.

حجر جيرى **limestone**

صخر رسوبى يتكون معظمه من كربونات الكالسيوم.

ليمونيت **limonite**

أكسيد حديد مائى غير متبلور.

تحجر **lithification**

العملية التى تصبح بها الرواسب صخورا متصلبة.

ليثولوجيا **lithology**

دراسة ووصف الصخور بالعين المجردة وكذلك دراسة التسيج والتركيب لأى عينة صخرية.

الغلاف الصخرى **lithosphere**

الجزء الصلب من الأرض.

حمولة **load**

كمية المواد التى تحملها عوامل التحات (مثل الأنهار والمثالج أو الرياح) فى زمن معين.

حِمْل **lode**

عرق معدنى سميك على غيرالمألوف،او مجموعة من عروق الخلملت يمكن تنجيمها.

طَفْس **loess**

راسب من الغرين تسوقه الرياح إلى أماكن بعيدة عن المصدر.

طولى **longitudinal**

فى اتجاه مواز للطول.

بريق **lustre**

المظهر الذى يبديه السطح القشيب غير المجوى لمعدن ما فى الضوء المنعكس.

- M -

حفريات كبيرة **macrofossils**

الحفريات التى ترى بسهولة بالعين المجردة.

صهارة **magma**

مواد الصخور المنصهرة فى باطن الأرض والتى تتكون منها الصخور النارية عندما تبرد.

قابل للطرق **malleable**

وصف للفلز أو المعدن إذا كان قابلا للترقق والسحب دون أن ينكسر.

وِشَاح **mantle**

الجزء السميك الكثيف من الغلاف الصخرى أسفل القشرة الأرضية ويمتد إلى عمق ميل تحت سطح الأرض.

صخر الوشاح **mantle rock**

سطيحة من التربة المفككة أو صخر يغطى الأساس الصخرى.

رخام **marble**

صخر كربوناتى متبلور، وكان قبل تحوله حجرا جيريا أو دولوميت.

بحرى **marine**

ينتمى إلى البحر، أو من البحر.

جِرَابيات **marsupials**

ثدييات أولية لها جيب أو جراب تضع فيه الصغار، وتوجد الآن فى أستراليا وأميركا ؛ ومثالها الكانجارو.

كتلى (مُصْمت) **massive**

هيئة المعدن الذى يفتقد إلى الشكل البلورى أو الشكل المقلد.

حـركـة الكتلة **mass movement**

حركة سطحية لمواد الأرض تنشأ أساسا بفعل الجاذبية.

دمار الكتلة **mass wasting**

انظر: حركة الكتلة **mass movement**.

أرضيــة **matrix**

المادة التى ينطمر فيها معدن معين، وأيضا الصخر الذى يلتصق به أحد أطراف بلورة ما.

منعطفـات نهـرية **meanders**

سلسلة من المنحنيات العريضة الفصية الشكل فى مجرى نهر متطور.

تجوية ميكانيكية **mechanical weathering**

انظر: تفكك **disintigration**.

ركام مثلجى متوسط **medial moraine**

جسم من الحريث شبيه بصيد مستطيل يتكون من اتصال ركامين مثلجين جانبيين.

حفريات كبيرة **megafossils**

انظر: حفريات كبيرة **macrofossils**.

متوسط **meso**

بادئة تعنى وسط **middle**.

حقب الحياة المتوسطة (الميزوزوى) **Mesozoic Era**

يتكون من أدوار الترياسى والجوراسى والطباشيرى.

صخر متحول **metamorphic rock**

صخر نشأ عن صخور نارية أو رسوبية تعرضت لتغيرات هائلة من الضغط ودرجة الحرارة والبيئة الكيميائية.

تحول **metamorphism**

تغير شامل للصخور والمعادن.

ماء جوى **meteoric water**

المياه الأرضية الآتية أساسا من سقوط المطر.

علم الأرصاد الجوية **meteorology**

العلم الذى يختص بالغلاف الجوى والتغيرات التى تعتريه.

ميكا **mica**

مجموعة من معادن السليكات الموجودة فى الصخور.

حفريات دقيقة **microfossils**

حفريات ميكروسكوبية الحجم.

الطريق اللبنى **milky way**

المجرة التى توجد فيها الأرض.

معدن **mineral**

مادة غير عضوية تكونت فى الطبيعة ولها صفات فيزيقية وكيميائية محددة.

علم المعادن **mineralogy**

العلم الذى يختص بدراسة المعادن ويشمل وجودها وتركيبها وأشكالها وخواصها وبنياتها.

ميوسين **Miocene**

الدور الرابع من الزمن الثالث **Tertiary** فى حقب الحياة الحديثة، واستمر لمدة ١٤ مليون سنة تقريبا.

المسيسباني **Mississipian**

مصطلح يستخدم في أميركا يكافئ الكربوني السفلي في أوربا.

انقطاع موروفيتشيك **Mohorovicic Discontinuity**

نطاق التماس بين القشرة الصخرية للأرض والوشاح، ويعرف أيضا باسم موهو **Moho**.

مقياس موهس **Mohs scale**

مقياس لتعيين الصلادة النسبية للمعادن.

مونادنوك **monadnock**

تل منعزل تخلّف كأثر بعد عملية التحات فوق سطح سهل ما.

أحادى الميل **monoclinic**

نظام بلورى تستند الأوجه البلورية فيه إلى ثلاثة محاور غير متساوية يتقاطع بعضها مع بعض، اثنان منها يتقاطعان عموديا والثالث مائل.

أحادى المسلك **monotremes**

ثدييات أولية تضع البيض، وتوجد الآن فقط في أستراليا مثل حيوان منقار البطة **platypus**.

قمر **moon**

جِرْم سماوى يدور حول كوكب.

رُكَام مثلجى **moraine**

تراكم من المواد الصخرية تحمله المثالج وترسبه.

مورفولوجيا **morphology**

علم دراسة البنية أو الشكل.

جبل **mountain**

اى جـــزء من الأرض يرتفع بشكل ملحـــوظ عن الأراضى المجاورة له، وفى العادة تكون له جوانب منحدرة وله قمة مدببة صغيرة المساحة نسبيا.

مثلجة جبلية **mountain glacier**

انظر: مثلجة البية **Alpine glacier**.

انسياب طمى **mudflow**

حركة كتلة كبيرة من الطين والصخر والماء إلى أسفل وادى أو مجرى نهر ما.

بركـــان وحلى **mud volcano**

ينابيع فقاعية يخرج منها الوحل وغالبا يكون لونه زاهيا.

عديد الخلايا **multicellular**

يتكون من أكثر من خلية واحدة.

مسكوفيت **muscovite**

ميكا بيضاء تتميز بوجودها على هيئة بلورات سطلحية بيضاء فضية اللون.

طفرة **mutation**

تغير موروث ينتقل نتيجة لتغيرات فى كروموسومات أو جينات الخلية الناقلة للوراثة.

- N -

انتخاب طبيعى **natural selection**

بقاء الكائنات الحية بسبب قدرتها على التكيف مع الظروف المحيطة بها وكذلك ظروف التغيرات البيئية.

nebula **سديم**

كتلة غازية ضبابية من الغازات أو الغبار توجد فى الفضاء.

névé **نيف**

ثلج وجليد حبيبى يصبح فيما بعد جليدا متثلجا.

nodule **عُقَيدة**

قطعة مستديرة من الصخر أو المعدن.

nonconformity **عدم توافق**

انظر: لا توافق **disconformity**.

normal fault **صدع عادى**

صدع تحرك فيه الحائط المعلق إلى أسفل بالنسبة إلى الحائط السفلي ويعرف أيضا باسم صدع الجاذبية.

- O -

oblate **منبعج**

شكل مفلطح عند القطبين.

obsidian **أبْسيديان**

صخر بركانى زجاجى.

oceanography **علم المحيطات**

علم دراسة البحار وخصائصها.

octa - **ثمانى-**

بادئة معناها ثمانية **eight**.

قضيب بحرى — **offshore bar**

قضيب رملى يوازى خط الساحل تقريبا.

طَفْلة زيت — **oil shale**

طفلة عضوية إلى حد كبير، ومن الممكن استخلاص النفط منها.

أوليـجـوسـين — **Oligocene**

قسم من الزمن الجيولوجى وهو دور فى حقب الحياة الحديثة يقدر أنه استغرق الفترة ما بين ٤٠ مليون سنة و٢٨ مليون سنة مضت.

أوليـفـين — **olivine**

معدن سليكاتى مكون للصخور، ولونه أخضر ادكن.

تطور الفرد — **ontogeny**

تاريخ حياة أو تطور كائن حى منفرد.

سـرئـى — **oolitic**

مصطلح توصف به الصخور والمعادن التى تتكون من جسيمات صغيرة تسمى سرئيات وهى تشبه بيض الأسماك.

معتم — **opaque**

صفة لأى جسم لا ينفذ الضوء من خلاله.

غِـطَـاء — **operculum**

غطاء أو زائدة لغلق فتحات بعض الأصداف.

أردوفـيـشى — **Ordovician**

ثانى أدوار حقب الحياة القديمة.

خام — **ore**

راسب معدنى فلزى.

عضو **organ**

جزء من نبات أو حيوان يؤدى وظيفته كوحدة ومثال ذلك القلب والمعدة وغيرهما.

عضوى **organic**

وصف لما يتصل بالكائنات الحية أو يستمد منها.

كائن حىّ - مُتَعَضّ **organism**

أى كائن حى.

أوروجينية **orogeny**

عملية أدت إلى نشوء الجبال وتطور بنياتها.

أرثوكليز **orthoclase**

فلسبار يميز الصخور النارية الحمضية : مثل الفلسبار البوتاسى.

معينى قائم **orthorhombic**

نظام بلورى تبنى فيه الأوجه البلورية على ثلاثة محاور غير متساوية تتقاطع كلها بزوايا قائمة.

مُنْكَشَف = مَكْشَف **outcrop**

مكان تظهر عنده الطبقات على السطح.

سهل مكتسحات **outwash plain**

سهل عريض يتكون من رواسب توضعت من أنهار من الثالج المنصهرة.

بحيرة قوسية **ox-bow lake**

بحيرة هلالية الشكل تكونت نتيجة لانعزال منعطف عن الجزء الرئيسى من النهر.

تأكسد **oxidation**

اتحاد الأكسجين كيميائيا مع مواد أخرى.

- P -

لابة حبلية **pahoehoe**

نوع من اللابة المتصلبة يتميز بسطح ناعم حبلى الشكل.

باليوسين **Palaeocene**

أول أدوار الزمن الثالث من حقب الحياة الحديثة.

إيكولوجيا قديمة **palaeoecology**

علم يدرس العلاقة بين الأحياء القديمة وبيئاتها.

جغرافيا قديمة **palaeogeography**

علم يدرس الجغرافيا القديمة لسطح الأرض.

باليئتولوجيا = علم الحفريات **palaeontology**

العلم الذى يختص بدراسة الحفريات.

الباليوزوى(حقب الحياة القديمة) **Palaeozoic**

الحقب الذى يضم أدوار الكمبرى والأردوفيشى والسيلورى والديفونى والكربونى والبرمى.

شبه توافق **paraconformity**

انظر: عدم توافق **unconformity**.

خُثّ **peat**

مواد نباتية لونها بنى أدكن متحللة جزئيا ومتراكمة، وهى تمثل أول مراحل تكون الفحم.

فتحة العنق **pedicle opening (pedicle foramen)**

انظر: ثقب **foramen**.

بيجماتيت **pegmatite**

صخر نارى متدخل غليظ التحبب، يوجد عادة على هيئة عدسات أو جُدُد.

محاريات **pelecypods**

لا فقاريات مائية ثنائية المصراع، تتبع طائفة المحاريات **pelecypoda** التى تتبع شعبة الرخويات **mollusca**.

سهل **peneplain (peneplane)**

منطقة منخفضة الارتفاع متسعة نتجت عن عمليات التحات المستمرة.

بنسلفانى **Pennsylvanian**

المكافئ الأمريكى لتكاوين جريت حجر الطاحون والفحم فى الدور الكربونى فى أوربا.

بيريدوتيت **peridotite**

صخر نارى قاعدى غليظ التحبب يتكون أساسا من معادن الأوليفين والبيروكسين.

دور **period**

قسم من الزمن الجيولوجى يلى الحقب **Era**، ويسبق العصر **Epoch**

منفذ (نفّاذ) **permeable**

جسم له القدرة على إمرار الموائع.

برمى **Permian**

آخر أدوار حقب الحياة القديمة.

تمعدن **permineralization**

إضافة مواد معدنية إلى الأصداف الأصلية عن طريق الترسيب فى الفراغات البينية، وذلك غير الإحلال محل المواد الأصلية للأصداف.

بتروجرافيا **petrography**

علم وصف الصخور.

ميكروسكوب (مجهر) بترولوجى **petrological microscope**

ميكروسكوب لدراسة القطاعات الرقيقة للصخور.

نفط (بترول) **petroleum**

خليط معقد من الهيدروكربونات يوجد فى صخور القشرة الأرضية.

بترولوجيا (علم الصخور) **petrology**

دراسة التاريخ الطبيعى للصخور بكل الطرق الممكنة.

بلورة بارزة **phenocrysts**

بلورة كبيرة بالمقارنة بالبلورات التى تحيط بها.

فوسفاتى **phosphatic**

وصف لما يحتوى على معادن الفوسفات أو يخصها.

تاريخ تطور السلالة **phylogeny**

التاريخ السلالى لمجموعة من الأحياء.

شعبة **phylum**

أحد الأقسام الأولية فى عوالم النبات والحيوان.

چيولوچيا فيزيقية **physical geology**

علم دراسة مواد الأرض وتركيبها وتوزيعها والقوى التى سببتها.

تجوية فيزيقية **physical weathering**

عملية تكسير وتفكك الصخور بطرق فيزيقية ؛ وتعرف أيضا باسم التجوية الميكانيكية أو التفكك.

فيزيوجرافيا **physiography**

وصف الظواهر الطبيعية الموجودة على سطح الأرض.

مثلجة قدم الجبل **piedmont glacier**

مثلجة تتكون نتيجة اتحاد (تجمع) عدة مثالج ألبية عند اقدام الجبال والتى تنشأ منها المثالج الألبية.

pitch **مـيل الطيــة**

الزاوية المحصورة بين محور طية والمستوى الأفقى.

plagioclase **بلاچيــوكليــز**

خليط من الفلسبارات يحتوى الصوديوم والكالسيوم ويوجد فى كل الصخور النارية الحامضية والقاعدية.

plain **ســهل**

منطقة ذات ارتفاع منخفض تسفلها طبقات أفقية.

plate tectonics **تكتـونيـة الألواح**

نظرية تقـول بأن سطح الأرض مـقـسم إلى ألواح كـبـيـرة تتحرك بالنسبة لبعضها البعض.

plateau **هضبة**

مرتفع قمته مسطحة نسبيا وتحتها طبقات أفقية أساسا.

plateau, basalts **هضاب بازلتية**

فرشـات أو شـراشف ضـخـمة من البـازلت نبعت من شـقـوق القشرة الأرضية ؛ وتسمى أيضا هضاب اللابة أو فيضـان البازلت.

playa **پَلايا**

الأرضيـات الجافة للبـحيرات المؤقـتة الموجودة فى المناطق الصحراوية.

Pleistocene **بليستوسين**

أول أدوار الزمن الرابـع فى حقب الحـياة الحـديثـة، وهو يلى دور البليوسين.

pleural grooves **حزوز جانبية**

فى تحت طائفـة التـرايلوبيـتا : الأجـزاء الجـانبـيـة للصـدر والذّنَب.

بليـوسـيـن **Pliocene**

آخر أدوار الزمن الثالث فى حقب الحياة الحديثة، وهو يلى دور الميوسين، واستمر هذا الدور حوالى ١٣ مليون سنة.

بلوتون **pluton**

جسم صخر نارى تصلّب من الصهارة فى الأعماق.

صخر جوفى (بلوتونى) **plutonic rock**

انظر: صخر متدخل intrusive.

عـــديد الزوايا **polygonal**

جسم له أكثر من أربع زوايا.

بوليب **polyp**

حيوان مائى من الجوفمعويات له زوائد كثيرة، وشكله أسطوانى أو على شكل الفنجان، كما فى المرجان.

بورســيليتى **porcellaneous**

وصف لما يشبه الخزف (البورسيلين).

مسامية **porosity**

النسبة المئوية للمسام الموجودة فى صخر ما، والتى يمكن لها الاحتفاظ بالموائع فى داخلها.

مسامى **porous**

صفة للجسم الذى يحتوى على مسام أو فراغات بداخله.

فرفيرى **porphyry**

صخر نارى يحتوى على بلورات كبيرة توجد فى وسط دقيق التحبب.

مـؤخـرة **posterior**

جهة الخلف من كائن حى ما.

حـفـرة قِـدْرية **pothole**

حفرة دائرية في صخور مجرى نهر ما، وشكلها يشبه القدر.

ما قبل الكمبري **Pre-Cambrian**

اقدم أحقاب الزمن الجيولوجي، وهو اقدم من حقب الحياة القديمة، وينقسم إلى الأركيوزوي والبروتيروزوي.

بروتستا **protista**

شعبة تضم أبسط أنواع الكائنات الحية حقيقية النوى ولها صفات مختلطة من النباتات والحيوانات ؛ مثال ذلك البكتيريا والطحالب والراديولاريا (الشعاعيات).

حفريات زائفة **pseudofossils**

أجسام غير عضوية تشبه الحفريات مثل الشجيريات **dendrits** والدرنات الصخرية **concretions**.

شكل خادع **pseudomorph**

معدن يتخذ شكل معدن آخر حل مكانه.

قدم كاذبة **pseudopodium**

امتداد مؤقت للبروتوبلازم فى أنواع معينة من الكائنات وحيدة الخلية، وهو عضو حركة وتغذية.

بتيروصور **pterosaur**

زاحف طائر من حقب الحياة المتوسطة.

بيريت **pyrite**

معدن صلب لونه نحاسي أصفر يتكون من كبريتيد الحديد FeS_2، ويسمى الذهب الخادع.

فتاتى بركانى **pyroclastic**

كسر من الصخور تكونت من الكسارات الصخرية التى قذفتها البراكين ؛ مثل القنابل البركانية والرماد البركانى.

- Q -

كوارتز **quartz**

معدن تركيبه ثانى أكسيد السيلكون ($Si O_2$) وهو من المعادن الشائعة فى أنواع الصخور المختلفة.

كوارتزيت **quartzite**

صخر متحول عن الحجر الرملى.

الدور الرابع **Quaternary**

أحدث فترة فى حقب الحياة الحديثة ، وهو يلى الدور الثالث.

- R -

تماثل شعاعى **radial symmetry**

انظر: تماثل **symmetry**.

نشاط إشعاعى **radioactivity**

اضمحلال تلقائى لنواة ذرية يصاحبه انطلاق طاقة.

قانون الإعادة **recapitulation law**

انظر: القانون الحيوى **biogenetic law**.

رُكام مُنْحَسِر **recessional moraine**

حيد من الحريث تكون من انحسار المثالج.

إعادة تبلور recrystallization

نمو بلورات صغيرة لتصبح أكبر حجما تحت ظروف مناسبة

طية مضطجعة recumbent fold

طية محور الطى فيها أفقى تقريبا.

طبقات حمراء red beds

صخور رسوبية حمراء اللون.

شِعْب reef

مرتفع أو حيد على قاع البحر يصل إلى السطح غالبا، ويتكون أساسا من مواد عضوية خلفتها كائنات حية مثل المراجين وغيرها.

تَصابى rejuvenation

تغيرات تسبب زيادة ممال نهر ما.

تضاريس relief

عدم انتظام سطح الأرض ؛ الفرق فى الارتفاع بين أعلى نقطة فى المنطقة وأكثر نقطة انخفاض فى المنطقة.

إحلال replacement

نمط من التحفر، تُزَال فيه أجزاء عضوية صُلْبة من الحفرية بواسطة المحاليل، وفى الوقت نفسه يتم ترسيب مواد أخرى فى الفراغات التى نتجت عن عملية الإزالة، وتسمى هذه العملية بالتمعدن.

صدع معكوس reverse fault

انظر: صدع دسر **thrust fault**.

ثَوْرة revolution

حركة هائلة بانية للجبال فى التاريخ الجيولوجى، ومثالها الثورة الألبية.

رائيتى **Rhaetic**

عصر فى حقب الحياة المتوسطة وهو وسط بين الدورين الترياسى والجوراسى.

ريوليت **rhyolite**

صخر بركانى دقيق التحبب أو من النوع المتدخل الضحل وله مثل تركيب الجرانيت تقريبا.

وادى أخدود **rift valley**

انظر: أخدود **graben**.

علامات النيم **ripple marks**

تمرجات موجية الشكل توجد على أسطح المواد غير المتماسكة، وتنتج من فعل الرياح أو المياه.

صخر **rock**

كتلة من مواد معدنية تتكون فى الطبيعة وتكون جزءا أساسيا من القشرة الأرضية.

معادن مكونة للصخور **rock-forming minerals**

المعادن الشائعة التى تكوّن نسبة عالية فى تركيب صخور الغلاف الصخرى

مثلجة صخرية **rock glacier**

ركام صخرى على هيئة لسان يتحرك ببطء بطريقة المثلجة.

ملح صخرى **rock salt**

معدن الهاليت أو الملح العادى وتركيبه الكيميائى **Na Cl**.

انزلاق صخرى **rockslide**

الحركة السريعة نسبيا للمواد الصخرية المفككة حديثا وتكون الحركة إلى أسفل على طول نطاقات انفصال المواد الصخرية.

وحدة صخرية — **rock unit**

تقسيم صخرى مبنى على أساس الصفات الفيزيقية والليثولوجية المحددة، ولا يعتمد التقسيم على أساس الزمن الجيولوجى ؛ سواء كانت مجموعات او تكاوين أو أعضاء.

مقياس روسى - فوريل — **Rossi-Forel Scale**

مقياس يستخدم للدلالة على شدة الزلزال.

ماء جارٍ — **run- off**

الماء الذى ينطلق على سطح الأرض.

- S -

سدادة ملح — **salt plug**

اجسام من الملح (أو الجبس) أنبوبية الشكل رأسية تتكون من السريان الرأسى للملح الواقع تحت ضغط، وقد اندفع الملح خلال الرواسب المحيطة به لكى يصل إلى وضعه الحالى.

رمل — **sand**

حبيبات معدنية، تركيبها المعدنى الكوارتز عادة ويتردد حجم الحبيبة منها بين ٢ مليمتر و ١/١٦ مليمتر.

كثيب رملى — **sand dune**

حيد أو تل من الرمل ترسب بواسطة الرياح.

حجر رملى — **sandstone**

صخر رسوبى يتكون من الرمل المتماسك.

تابع سماوى — **satellite**

انظر: قمر moon.

شيست **schist**

صخر متحول يحتوى على وفرة من معادن مرتبة على هيئة الواح، وينفصل الصخر بسهولة فى اتجاهات موازية للأسطح المرتبة فى هيئة الألواح.

فكوك الديدان **scolecondont**

الفكوك الكيتينية والقرنية أو السيليسية للديدان.

انتشار قاع البحر **seafloor spreading**

ظاهرة تنتج من استحداث مواد عند حيد وسط المحيط وتنتشر هذه المواد بعيدا عن الحيود فتؤدى إلى انفصال القارات وزحزحتها.

راسب **sediment**

مواد تترسب نتيجة للتوضع من وسط ناقل مثل الماء أو الهواء.

صخر رسوبى **sedimentary rock**

صخر يتكون نتيجة تصلب الرواسب.

ترسيب **sedimentation**

عملية ترسيب جسيمات الصخر (الرواسب) التى تؤدى إلى تكوين الصخور الرسوبية.

سيزموجرام **seismogram**

سجل زلزالى يسجله جهاز السيزموجراف إثر حدوث زلزال.

سيزموجراف **seismograph**

جهاز يستخدم فى تسجيل الهزات الأرضية.

علم الزلازل **seismology**

الدراسة العلمية للزلازل والهزات الأرضية الأخرى.

حاجز **septum**

فاصل أو جدار للتقسيم، فهو فاصل بين الحجرات فى اصداف **fusulinids**، وفى المراجين هو أحد الألواح الشماعية الجيرية فى المرجانة، وفى الرأسقدميات هوالحاجز المستعرض بين الحجرات.

نسق **series**

الصخور التى تكونت خلال حقبة، وهو المصطلح الاستراتجرافى فى الزمن الأقل من نظام **system**.

طَفْلة **shale**

صخر رسوبى يتكون من رقائق من الطين المتصلب والصلصال والغرين.

دِرْع **shield**

منطقة مترامية من صخور ما قبل الكمبرى المنكشفة.

مخروط درعى **shield cone**

انظر: بركان درعى **shield volcano**

بركان درعى **shield volcano**

بركان يتكون من اللابة بصفة مطلقة، ويعرف أيضا بإسم مخروط درعى أو قبة اللابة أو درع بركانى.

سليكا **silica**

ثانى اكسيد السليكون (SiO_2).

سيليسى **siliceous**

وصف لما يحتوى على السليكا أو ينتمى إليها.

سيلسة **silicification**

عملية الاتحاد مع السليكا أو الاختلاط بها.

مُتَسَيلِس silicified

وصف لما يحتوى على كميات كبيرة من الكوارتز أو السليكا، أو حدثت له عملية إحلال بالسليكا.

سد أفقى sill

صهارة متصلبة تدخلت بين طبقات الصخور الرسوبية.

غِرْيَن silt

راسب طينى دقيق التحبب يتكون من جسيمات حجم الحبيبة منها من ١/١٦ إلى ١/٢٥٦ مم.

سيلورى Silurian

ثالث أقدم أدوار حقب الحياة القديمة وهو أقدم من الديفونى وأحدث من الأردوفيشى.

بالوعة sink

انظر: فجوة بالوعية sink - hole.

فجوة بالوعية sink - hole

منخفض على سطح الأرض ينشأ عن ظاهرة الانهيار الناتج عن ذوبان الصخور السفلية : ويعرف أيضا باسم " بالوعة " sink.

أَرْدواز slate

صخر متحول دقيق التحبب شديد الدموج، ينفصل بسهولة إلى رقائق وهو ناتج عن تحول الطَفْلة.

مصاقل slickensides

أسطح صخرية مصقولة تتكون من انزلاق كتلتين صخريتين الواحدة على الأخرى بفعل عمليات التصدع.

تَدَهْور **slump**

انزلاق صغير نسبيا يحدث فى كتل الصخور أو التربة ويكون اتجاهه إلى أسفل.

تنقية بالصهر **smelting**

عملية يتم فيها اختزال الخام المعدنى إلى فلز.

خط الثلج **snow line**

المستوى الذى يوجد الثلج أعلاه طول العام

تربة **soil**

صخر متكسر ومتحلل به مواد عضوية مضمحلة.

النظام الشمسى **solar system**

الشمس والأجرام السماوية التى تدور حولها.

انثيال التربة **solifluction**

حركة بطيئة لكتلة من التربة ، وهى خاصية مميزة للمناطق القطبية الشمالية والشبيهة بالقطبية.

منفرد **solitary**

وصف لكائن حى ليس فردا فى مستعمرة بل يعيش بمفرده.

نوع **species**

أحد الأقسام الصغيرة الطبيعية فى التصنيفات الحيوية.

وزن نوعى **specific gravity**

وزن المادة مقسوما على وزن حجم مساو لها من الماء، وتسمى أيضا الكثافة النسبية، ودرجة الحرارة القياسية المستعملة لقياس الوزن النوعى هى درجات مئوية.

اسم نوعى **specific name**

الاسم الذى يطلق على النوع **species**، ويكون هو الاسم الثانى الذى تسمى به الحفرية مثل ***sapiens*** فى ***Homo sapiens***.

كُرَوانى **spheroidal**

شبيه بشكل الكرة (كرة مشوهة).

شوكة إسفنجية **spicule**

إحدى مكونات هيكل الإسفنج، وتتكون من جسيمات معدنية، قد تكون جيرية أو سيليسية.

حلزون **spire**

احد الأجزاء الرئيسية فى صدفة البطنقدميات الملتوفة ويكوّن مع لفة الجسم الصدفة الحلزونية.

قضيب رفيع **spit**

قضيب رملى يشبه الإصبع ويمتد فى المياه خارجا من الشاطئ.

ينبوع **spring**

مكان يصل فيه الماء الأرضى إلى السطح خلال فتحات طبيعية .

قائم بحرى **stack , sea**

عمود صخرى منعزل، وجوانبه شديدة الانحدار نتيجة لنحات الأمواج لخط الشاطئ.

ستالاكتيت (هابط) **stalactite**

راسب يتدلى من أسقف الكهوف ويتكون نتيجة لبخر المحاليل فتبدو كدلايات من السقف.

ستالاجمايت (صاعد) **stalagmite**

راسب يتكون نتيجة لتبخر المحاليل على أرضيات الكهوف فيبدو كأنه صاعد من الأرضية.

نجم **star**

كتلة هائلة من الغازات المتوهجة الملتهبة فى السماء ، مثل الشمس.

صبةٌ داخلية **steinkern**

قالب داخلى لصدفة مثلا .

ستوك **stock**

جسم من الصخور النارية، بيضى الشكل أو دائرى يزداد حجمه مع زيادة العمق، وأرضيته غير معلومة ومساحة سطحه المنكشفة أقل من الميل المربع.

اجتياح **stoping**

إحدى العمليات التى يتم بواسطتها تدخل الصخور النارية فى صخر إقليمى، حيث تتحرك الصهارة إلى أعلى وتتكسر أجزاء من الصخر الاقليمى وتسقط فى الصهارة حيث تندمج مع الكتلة المنصهرة.

طباقية **stratification**

وجود الصخور فى شكل طبقات فى الصخور الرسوبية.

استراتجرافيا **stratigraphy**

فرع من الجيولوجيا يختص بتعرف وتفسير الصخور الطباقية وبخاصة ليثولوجيتها، وتتابعها، وتوزيعها وكذلك مضاهاتها.

بركان طباقى **stratovolcano**

انظر: مخروط مركب Composite come.

طبقة **stratum**

طبقة مفردة أو سطيحة من الصخور الرسوبية.

حُكَاكَـة (مـخـدش) **streak**

لون مسحوق المعدن الناعم، ويعين بحك المعدن بقطعة من البورسلين غير المصقول.

لَوْحَـةُ الحُكَاكَـة (المَحَكّ) **streak plate**

قطعة من البورسلين غير المصقول أو قالب منه يستخدم لتعيين مخدش المعدن (حكاكة المعدن).

أسْر نهرى **stream capture**

انظر: القرصنة النهرية stream piracy.

قرصنة نهرية **stream piracy**

انتقال الماء من نهر إلى نهر آخر نتيجة لاختلاف ميل المجرى.

محـزز(مُـثلَّم - مـخطط) **striate**

وصف لما به حزوز أو ثلم.

تحزز **striation**

خطوط دقيقة متوازية بينها مسافات ضيقة للغاية.

مَضْرِب **strike**

اتجاه الخط (حقيقى أو وهمى) الناتج عن تقاطع طبقة أو طبيقة مع المستوى الأفقى ، ويكون المضربُ عموديا على الميل.

صَدْعُ مضرِب مُنْزلق **strike - slip fault**

صدع تكون فيه الحركة فى اتجاه مضرب الصدع.

جيولوجيا بنائية **structural geology**

فرع من الجيولوجيا يختص بدراسة بنيات الأرض (الصخور وعلاقتها بعضها ببعض).

بِنْية **structure**

ظاهرة فيزيقية للصخور، مثل التمفصل والتطبق والطى والتشقق وغيرها.

نهر تحت جليدى **subglacial stream**

نهر يسرى فى نفق تحت مثلجة.

تسامى **sublimation**

عملية تتغير فيها المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة دون المرور بالحالة السائلة، ثم ترجع مرة أخرى إلى الحالة الصلبة دون المرور بالحالة السائلة.

هبوط **subsidence**

هبوط القشرة الأرضية إلى أسفل.

تحت السطح **subsurface**

انظر: مياه أرضية **ground water**.

مياه تحت أرضية **subterranean water**

انظر: مياه أرضية **ground water**.

قانون تعاقب الطبقات **superposition law**

قانون ينص على أنه فى أى تتابع صخرى لم يتعرض للاضطراب، تكون الطبقات الأحدث فوق الطبقات الأقدم منها.

تَعَلُّق **suspension**

الحالة التى تكون فيها حمولة النهر مُعلَّقة فى الماء ؛ بين القاع والسطح.

دَرْز suture

الخط الذى يصل بين جـزئين فى تركـيب كـائن حى : فى الزنبـقـانيـات هـو الخط الذى يصل بين لوحـين، وفى البطنقـدميات هو الخط الواصل بين اللفات كما يظهر من خارج الصدفة، وفى الرأسقدميات هو الخط الواصل بين الحاجز وجدار الصدفة.

طية متماثلة symmetrical fold

طية يكون المستوى المحورى فيها رأسيا، ويكون الميل فى كل طرف من طرفى الطية متساويا.

تماثل طية symmetry of fold

التكرار المعكوس لأجزاء الطية بالنسبة لمحورها.

قُعَيرة syncline

طية مقعرة لأسفل فى الصخور الطباقية.

نظام system

فى الاستراتجرافيا : الصخور التى تكونت خلال فترة معينة، وفى الاصطلاح الزمنى الاستراتجرافى : الثانى فى المرتبة فوق النسق series وفى علم المعادن : أحد ستة أقسام تنقسم إليها البلورات على أساس التماثل.

- T -

نَضَدِيّ tabular

جسم له سطح كبير متسطح ورقيق نسبيا.

كعب (تالوس) talus

كتلة من الركام الصخرى تتجمع عند سافلة تل شديد الانحدار أو جرف.

بحيرة جبلية **tarn**

بحيرة جبلية صغيرة تكونت فى دارة بعد إزالة جليد الثلاجة.

فقدان اللمعان **tarnish**

تغير فى درجة لمعان السطح فى المعادن الفلزية.

تصنيف **taxonomy**

فرع من العلم يختص بالتقسيم، وبخاصة فى النبات والحيوان.

زلزال تكتونى **tectonic earthquake**

زلزال ينشأ من حركة قشرية تكتونية مثل التصدع.

حركة تكتونية **tectonic movement**

حركة تنشأ من تحرك القشرة الأرضية.

تماسك **tenacity**

مقاومة المعادن ضد الكسر، وتوصف المعادن بأنها إما أن تكون قابلة للطرق، أو قابلة للسحب، أو قابلة للقطع، أو قصيفة.

رُكَامٌ طرفى **terminal moraine**

ركام يتكون عند أبعد نقطة تصل إليها الثلاجة، يعرف أيضا باسم نهاية الركام.

الزمن الثالث **Tertiary**

أقدم فترة زمنية فى حقب الحياة الحديثة وهو أقدم من الزمن الرابع.

صدفة **test**

الغطاء الواقى فى بعض الحيوانات اللافقارية.

رباعى **tetragonal**

أحد النظم البلورية الستة.

نسيج **texture**

مظهر فيزيقى للصخر يتحدد بشكل المواد التى تُكَوِّن الصخر وحجمها وطريقة ترتيبها.

غِمْـد **theca**

فى الجرفمويات: الجدار المحدد أو الموجود قريبا من حافة الهيكل الخارجى ؛ وفى الجلدشوكيات الهيكل الرئيسى للجسم (أو الكأس) الذى يُؤوى أجزاء جسم الحيوان الرخوة؛ وفى الجرابتوليتات هو أى فنجان أو أنبوبة من المستعمرة.

صدر **thorax**

فى الترايلوبيتا : جزء الجسم الموجود بين الرأس والذنب.

صدع دسر **thrust fault**

صدع يكون فيه الحائط المعلق قد تحرك إلى أعلى بالنسبة للحائط السفلى، ويعرف أيضا بالصدع المعكوس.

حـريث **till**

راسب مثلجى، غير متطبق وغير متماسك.

حريث متصلب **tillite**

راسب مثلجى متطبق ومتماسك.

وحدة زمنية **time-unit**

جزء من الزمن الجيولوجى المستمر، مثال ذلك الأحقاب والأدوار والعصور والأعمار والأحيان.

وحدة زمنية صخرية **time-rock unit**

انظر: وحدة زمنية استراتجرافية.

وحدة زمنية استراتجرافية **time-stratigraphic unit**

مصطلح يطلق على الوحدات الصخرية التى لها حدود محددة بزمن جيولوجى، طبقات ترسبت خلال أجزاء من الزمن الجيولوجى، مثال ذلك التجمعات **erathem**، والنظم **systems**، والأنساق **series**، والطوابق **stages**.

تومبولو **tombolo**

شريط من الأرض ترسب ليصل جزيرة صغيرة بالبر، أو بجزيرة أخرى.

طوبوغرافية **topography**

الملامح الفيزيقية الموجودة على سطح الأرض وتوزيعها وأشكالها.

صدوع محوّلة **transform faults**

الصدوع التى يتمزق بها أحد الألواح التكتونية على امتداد الآخر.

نقل **transportation**

العملية التى تُحمَل فيها المواد الصخرية وتنقل من مكان لآخر.

صخر مصيدة **trap-rock**

مصطلح عام يطلق على أنواع معينة من الصخور النارية الدكناء مثل الديابيز والبازلت. ويسمى مثل هذا النوع من الصخور مصيدة.

ترافرتين **travertine**

ضرب من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ يترسب من المياه الأرضية أو السطحية. وتتكون بعض التكاوين التحت أرضية مثل الاستالاكتيت والاستلاجميت من الترافرتين، وتوجد مثل هذه الرواسب أيضا حول مخارج بعض الينابيع المائية، ويعرف الترافرتين أيضا باسم الطوفا **tufa**.

خنادق **trenches**

مخلسف عميقة فى أرضية المحيط شكلها مثل حرف V، حيث ينوص أحد الألواح التكتونية تحت لوح آخر.

ترياسى **Triassic**

اقدم أدوار حقب الحياة المتوسطة، وهو يأتى بعد الدور البرمى، آخر أدوار حقب الحياة القديمة ويسبق الدور الجوراسى فى حقب الحياة المتوسطة.

ثلاثى الميل **triclinic**

أحد النظم البلورية الستة.

ثلاثى الزوايا **trigonal**

جسم له ثلاث زوايا.

ترايلوبيت (ثلاثى الفصوص) **trilobite**

من المفصليات البحرية المنقرضة، وله جسم مفلطح مكون من أجزاء (فصوص) يغطيه هيكل خارجى ظهرى صلب وينقسم الجسم إلى ثلاثة فصوص طولا وعرضا.

اسم صغير **trivial name**

الاسم اللاتينى الذى يضاف إلى اسم الجنس للتمييز بين الأنواع : ويعرف أيضا بالاسم النوعى **specific name**.

تسونامى **tsunami**

موجة بحرية سيزمية عملاقة تنشأ من زلزال تحت بحرى أو أية اضطرابات على أرضية البحر، وتسمى أيضا موجة المد **tidal wave**.

توفا (طوفا) **tufa**

رواسب جيرية مسامية تتجمع حول الينابيع، وتسمى التوفا الجيرية أحيانا باسم الترافرتين.

turbidity currents — **تيارات تعكير**

تيارات قوية تنتج من انزلاق الطين إلى أسفل المنحدرات القارية في المحيط.

twin crystal — **بلورة توأم**

بلورتان أو أكثر تنموان معا بطريقة متداخلة.

type locality — **منطقة طرازية**

الموقع الجغرافي الذي وصف منه التكوين لأول مرة أو الذي أتت منه العينة الطرازية لنوع حفري ما، ويستمد التكوين اسمه من الاسم الجغرافي لهذا الموقع.

- U -

unconformity — **لا توافق**

انقطاع في الترسيب نتيجة لعمليات التحات؛ أي مكان في القشرة الأرضية حدثت فيه عمليات تحات للأساس الصخري وترسبت فوقه صخور رسوبية أحدث. ومن أنواع اللاتوافق:

angular unconformity — **لا توافق زاوي**

نوع من أنواع عدم التوافق حيث حدث تحرف للطبقات الموجودة تحت طبقات عدم التوافق وذلك قبل ترسيب الطبقات التي تعلوها.

disconformity — **لا توافق تخالفي**

نوع من عدم التوافق تكون فيه الطبقات فوق وتحت سطح عدم التوافق متوازية.

لا توافق غير متجانس **nonconformity**

نوع من عدم التوافق يتكون من ترسيب صخور رسوبية فوق صخور من أصل ناري.

شبه توافق **paraconformity**

نوع من عدم التوافق يتميز بأن سطح التماس بين الطبقات المتوازية يكون مستويا.

مياه تحت أرضية **underground water**

انظر: مياه أرضية **ground water**.

وحيد الخلية **unicellular**

كائن حى يتكون من خلية واحدة

الاطرادية (نظرية الوتيرة الواحدة) **uniformitarianism**

المبدأ القائل بأن الحاضر هو مفتاح الماضى، ويفسر ذلك بأن أفضل طريقة لاستنتاج الماضى الجيولوجى هى تفهم الحاضر الجيولوجى.

صخور غير متطبقة **unstratified rocks**

صخور ليست متطبقة وليست على هيئة سطائح.

- V -

وادى **valley**

منخفض مستطيل فى سطح الأرض يجرى فيه نهر فى العادة.

وادٍ مثلجى **valley, glacier**

انظر: مثلجة ألبية **Alpine glacier**.

وادى متسلسل **valley, train**

سهل فيضانى ذو انحدار لطيف يتكون من رواسب توضعت من المياه التى تنساب من عند قدم الوادى المثلجى.

مصراع **valve**

جزء أو أكثر من الأجزاء التى تكوّن صدفة الحيوان.

ضرب **variety**

فى علم المعادن: مرتبة فى عالم المعادن تحت رتبة النوع.

حوليات **varves**

أزواج من سطائح الرسوبيات (إحداها غليظة التحبب والأخرى دقيقة التحبب)، وتترسب الحولية فى بحيرة مثلجية فى سنة واحدة.

وعائى **vascular**

اصطلاح يختص بالأنابيب أو الأوعية التى تسرى فيها المواثع فى اوعية النبات أو الحيوان.

عِرْق **vein**

وجود خلم معدنى على هيئة فريش تقريبا ذى سمك قليل، لكنه يمتد طولا وعمقا .

قصبة **vent**

الفجوة الرأسية أو الأنبوب الذى ترتفع فيه الصهارة فى مركز البركان.

وَجْهِريحيَّات **ventifacts**

أحجار صقلت وأصبحت ناعمة وتغيرت أشكالها نتيجة لعملية برى بالرياح.

بطنى **ventral**

ما يختص بالبطن abdomen ويقابل هذا المصطلح مصطلح ظهرى dorsal الذى يخص الظهر back.

فقارى **vertebrate**

حيوان له عمود فقرى (شوكى).

صخر فقاعى **vesicular rock**

صخر يتميز بوجود فراغات عديدة صغيرة تنشأ نتيجة لتمدد الغازات.

بنية لاوظيفية **vestigial structure**

بنية تقلص حجمها وأصبحت بلا وظيفة لها خلال التغير التطورى.

زجاجى **vitreous**

صفة لما ينسب إلى الزجاج.

رماد بركانى **volcanic ash**

الجسيمات الصخرية الدقيقة التى تنتشر خلال ثوران البركان.

كتلة بركانية **volcanic block**

كسرة صخرية صلبة حادة الزوايا تقذف من البركان خلال ثورانه.

قنبلة بركانية **volcanic bomb**

كتلة من الصهارة التى بردت ولها شكل يشبه الدموع تقذف اثناء ثوران البركان.

زجاج بركانى **volcanic glass**

صخر عديم التبلور تكون نتيجة التبريد السريع لللافا.

عنق بركانى **volcanic neck**

مواد صخرية متصلبة تكونت عن برودة الصهير وتصلبه فى القصبة المركزية للبركان.

دِرْع بركانى **volcanic shield**

انظر: بُركان درعى **shield volcano**.

بَرْكَنَة **volcanism**

التأثيرات التى تحدثها الصخور المنصهرة والبراكين أو النشاط البركانى.

بركـــان **volcano**

فتحة فى صخور القشرة الأرضية تخرج منها المواد البركانية، كذلك يطلق هذا الاسم على شكل الأرض المتكون نتيجة لتراكم المواد البركانية حول قصبة البركان.

براكين أنديزيتية **volcanoes, andesitic**

براكين متفجرة توجد على الجوانب القارية للخنادق **trenches** بصفة أساسية، وتتكون من الماء والمواد المتطايرة التى تتفجر من البراكين نتيجة للتغيرات التى تعتريها عند الأطراف الهابطة من القشرة المحيطية.

براكين بازلتية **volcanoes, basaltic**

براكين هادئة توجد بصفة أساسية على امتداد حيود وسط المحيط عند أماكن تيارات الحمل الصاعدة فى الوشاح الصخرى.

بركنة **vulcanism**

انظر: بركنة **volcanism**.

فجوة مائية **water gap**

وادٍ أو ممر فى حيد جبلى ينساب فيه نهر.

منسوب الماء **water table**

السطح الذى تكون فيه فراغات الصخور الموجودة اسفله مشبعة بالماء.

تجـــوية **weathering**

التكسير والتفكك الفيزيقى والكيميائى للصخور تحت الظروف الجوية العادية.

لفة **whorl**

دورة واحدة فى الصدفة الملفوفة.

فجوة ريحية **wind gap**

فجوة مائية هجرها النهر الذى كان يجرى فيها

- Z -

زوى **zoic-**

لاحقة معناها حياة (من أصل إغريقى *Zoe* = life).

نطاق **zone**

جزء من التكوين **formation**، يتميز بحفريات خاصة.

مسكن **zooecium**

انبوب أو حجرة يشغلها فرد من مستعمرة الحزازانيات **bryozoans**.

فهرس Index

لمصطلحات الجيولوجيا (باللغة العربية)

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	رقم الصفحة
ترايلوبيتات	trilobites	٢٦٦، ٣٣١، ٣٣٢، ٣٣٣، ٣٧٢، ٣٧٣، ٣٧٤، ٣٧٥، ٣٧٨، ٣٨٠، ٣٨٤، ٣٨٤، ٣٩١
تربة	soil	٢٧، ٣٠، ٣٦، ٣٩، ١١٥، ١١٧، ١٤٨، ١٥٣، ١٥٤، ١٥٥، ١٧٦، ١٧٧، ١٨١، ١٨٦، ١٩٦، ١٩٦، ١٩٧، ٢٠٤، ٢١١، ٢١٣، ٢١٥، ٢١٧، ٢١٩، ٢٣٣، ٢٨٦، ٣٠٠، ٣٩٠، ٤٠١
ترسيب	deposition	١١٦، ١٢٥، ١٤٤، ١٦٧، ١٨١، ١٨٣، ١٨٤، ١٩٢، ٢٠٧، ٢٠٨، ٢٢٣، ٢٢٥، ٢٢٨، ٢٣٣، ٢٣٤، ٢٤٠، ٢٤٣، ٢٧١، ٢٨٦، ٢٩١، ٢٩٣، ٢٩٤، ٣٠٣، ٣٦٩، ٣٧٠، ٣٨٢، ٣٨٢، ٣٩٠، ٣٩٤، ٤٣٦
تريمولبت	tremolite	٦٨، ٨٣
تسمية ثنائية	binomial nomenclature	٣٠٦، ٣٠٧
تسونامى	tsunami	٢٢٥، ٢٤٩، ٢٥١، ٢٥٢
تصدع	faulting	٢٢٢، ٢٤٦، ٣١٣، ٣١٤، ٣١٥
تضوء	luminescence	٦١
تطبق	stratification	١٢٢، ١٢٥، ١٢٨، ١٣٣، ١٣٦، ٢١٠
تطور	evolution	٢٨، ٣٠، ٣٣، ٣٤، ١٠٠، ١١٠، ١٤٣، ١٦٤، ١٧٦
تقشر - تورق	exfoliation	١٣٩، ١٥١، ١٥٢
تكاوين طمية	alluvial formations	١٦٨
تكتونية (تكتنة)	tectonism	١٢٣، ١٣٤، ١٤١، ١٧١
تكربن	carbonization	١٢١، ٣١٨، ٣٠٣
تلال صغيرة	drumlins	١٩٥، ١٩٦، ١٩٨، ٢٠٠، ٢٠٧
تماسيح	crocodiles	٣١٨، ٣٨٨، ٤٠٣
تمزلج	sledding	
تمساح أميركا	alligator	٣١٨
تمعدن لاحق	permineralization	٣٠٣
تموه(هدرتة)	hydration	١٤٧، ١٤٨
تندرا	tundra	٣٠٠، ٣٦١
تهشم	diastrophism	٣٠٣
توائم	twins	٩٢
توازن (أيزوستاسية)	isostasy	١٤٣، ١٤٤

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة العربية	باللغة الإنجليزية	
جدار معلق	hanging wall	١٣٨، ١٣٩
جدد قاطعة	dykes	٩٤، ٣٧١
جدد موازية	sills	٩٥
جذوع	stocks	٩٦
جرابتوليثينا	graptolithina	٣١٠
جرانيت	granite	٣٩، ٤٠، ٤٣، ٦١، ٦٥، ٦٧،٧٣، ٨٢، ٨٦، ٨٧، ٨٨، ٨٩، ٩١، ٩٢، ٩٣، ١١٦، ١٤٣، ١٩٩، ٢٤٢، ٢٥٧، ٢٦٤، ٢٧١، ٢٧٢، ٣٧٠، ٣٧٣، ٣٧٨، ٣٨٢
جروف بحرية	sea cliffs	١٢٣، ١٤٦، ٢٢٦، ٢٢٧، ٢٣٣
جروق	greywacke	١١٦، ١١٧، ٢٧٣، ٢٧٧
جريت	grit	١١٦، ٢٧٣، ٢٨١، ٢٨٢، ٢٨٩
جريت حجر الطاحون	millstone grit	٢٨١، ٢٨٢، ٢٨٩
جغرافيا قديمة	palaeogeography	٣٦٤
جلدشوكيات	echinodermata	٣٢٤، ٣٢٥، ٣٢٦، ٣٢٧، ٣٢٨، ٣٧٥، ٣٧٨، ٣٨٠، ٣٨١، ٣٩٥، ٤٠٢
جلدشوكيات هائمة	eleutherozoa	٣٢٥، ٣٢٦، ٣٢٧، ٣٢٨، ٣٧٥، ٣٧٨، ٣٨٠
جوفمعويات	coelenterata	١١٩، ٣١٦، ٣٤٢
جير	lime	٤٣، ٦٩، ٧٠، ٧٦، ٧٧، ٧٩، ١١٣، ١١٥، ١١٨، ١١٩، ١٢٠، ١٢١، ١٢٣، ١٢٥، ١٢٧، ١٣٣، ١٤٨، ١٤٩، ١٥٠، ١٥٥، ١٦٢، ١٦٤، ١٨١، ٢٠١، ٢٢٥، ٢٣٤، ٢٤٠، ٢٦١، ٢٦٦، ٢٦٩، ٢٧٢، ٢٨٥، ٢٩٧، ٢٩٨، ٣٠١، ٣٠٥، ٣١٢، ٣٢٠، ٣٢٣، ٣٢٦، ٣٣٤، ٣٣٥، ٣٣٦، ٣٣٨، ٣٣٩، ٣٧٠، ٣٧٢، ٣٧٣، ٣٧٧، ٣٧٨، ٣٨٠، ٣٨١، ٣٨٢، ٣٨٣، ٣٨٤، ٣٨٥، ٣٨٦، ٣٨٩، ٣٩٠، ٣٩٢، ٣٩٤، ٣٩٥، ٤٠٠، ٤٢٣، ٤٢٤، ٤٢٦
جيزريت	geyserits	١٨٤
جيوتات	guyots	٢٢٣
جيولوجيا	geology	١، ٧، ٨، ٢٧، ٢٨، ٢٩، ٣٠، ٣١، ٣٢، ٣٣، ٣٤، ٣٩، ٤٠، ٤١، ٤٢، ٤٣، ٥١، ٦٢، ٧٤، ٨٧، ٩٧، ٩٨، ١٠٣، ١٢٣، ١٣٤، ١٣٥، ١٤١، ١٤٥، ١٤٦، ١٥٩، ١٦٣، ١٨٦، ٢٢٧، ٢٧٢، ٢٧٥، ٢٩٤، ٣١٢،

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة العربية	باللغة الإنجليزية	
دور البرمي	Permian Period	١٨٧، ٢٢٢، ٢٣٤، ٢٣٦، ٣١٣، ٣١٦، ٣٨٤، ٤٣٦
دور الترياسي	Triassic Period	١١٨، ٢١١، ٢١٧، ٢٣٩، ٢٤٦، ٢٤٧، ٢٤٨، ٢٤٩، ٢٨٤، ٢٨٥، ٢٨٦، ٢٨٧، ٤٣٦
دور الثلاثي	Tertiary Period	٩٧، ٩٨، ٢٨٤، ٢٤٨، ٣٥٤، ٣٦٠، ٣٦٣، ٣٩٩، ٤٠٠، ٤٠١، ٤٠٢، ٤٠٣، ٤٠٤، ٤٠٦، ٤٠٨
دور الجوراسي	Jurassic Period	٨٠، ١٢٠، ١٤٣، ٢٣٨، ٢٣٠، ٢٣٦، ٢٤٧، ٢٤٩، ٢٥٣، ٢٥٤، ٢٥٥، ٢٨٦، ٢٨٨، ٢٨٩، ٣٦٠، ٣٦١، ٣٦٣، ٣٦٤، ٤١٦، ٤١٨، ٤٢٢
دور الديفوني	Devonian period	١٦٩، ٢٨١، ٢٨٣، ٢٨٤، ٣٣٤، ٣٦٠، ٣٦٣، ٣٦٤، ٣٦٥، ٣٧٩، ٣٨٠
دور الرباعي	Quaternary Period	٢٨٤، ٤٠٠، ٤٠١
دور السيلوري	Silurian Period	١١٩، ٢٨٥، ٣١٣، ٣٣٤، ٣٤١، ٣٤٣، ٣٧٦، ٣٧٧، ٣٧٨، ٣٧٩
دور الطباشيري	Cretaceous Period	١١٧، ١١٩، ٢١٩، ٢٣٩، ٢٣٠، ٢٣٦، ٢٤٦، ٢٤٧، ٢٤٩، ٢٥٣، ٢٥٤، ٢٨٨، ٢٨٩، ٣٥٣، ٣٦٤، ٣٧٣، ٣٩٨، ٤٠٤
دور الكربوني	Carboniferous Period	٩٠، ٩٧، ٩٨، ١١٩، ١٢٢، ٢١٨، ٢٨٤، ٣٣٣، ٣٣٧، ٣٣٠، ٣٣١، ٣٣٦، ٣٣٩، ٣٤١، ٣٤٦، ٣٧٢، ٣٧٤، ٣٨٤، ٣٨٧، ٣٨٣، ٣٨٥
دور الكمبري	Cambrian Period	٢٨٤، ٣١٤، ٣١٥، ٣١٦، ٣١٩، ٣٣٠، ٣٣٥، ٣٣٧، ٣٣٦، ٣٣٣، ٣٣٥، ٣٤٠، ٣٤٢، ٣٤٣، ٣٤٣
دور مسيسبي	Mississippian Period	٢٨١
دور بنسلفاني	Pennsylvanian Period	٢٨١
دورة هدرولوجية	hydrologic cycle	١٥٧، ١٧٦
دولوميت	dolomite	٧٠، ٧٣، ٧٣، ٨١، ١٢١، ١٢٢، ١٤٨، ١٦٣، ١٨١، ٢٤٠، ٢٧٩، ٣٠٤، ٣٧٨، ٣٨٤، ٣٨٥، ٤٨٨
ديدان	worms	٣١٩، ٣٢١، ٣٧٠، ٣٧٤، ٣٧٩
ديدان حلقية	annelida	٣١٩، ٣٢١
دينوصورات	dinosaurs	٣٠٥، ٣٠٦، ٣١٤، ٣١٧، ٣١٩، ٣٥٠، ٣٥٣، ٣٥٣، ٣٥٣، ٣٨٨، ٣٩١، ٣٩٥، ٣٩٦، ٣٩٧، ٣٩٨
ديوريت	diorite	٨٦، ٨٨، ٨٩، ٢٥١

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	رقم الصفحة
ريبكيت	riebeckite	٦٩
(ز)		
زئبق	mercury	١٨٤، ١٨٥، ١٩٧، ٢٠٤، ٢٠٦، ٢٠٧، ٢٢٨، ٢٤٤، ٢٧٠، ٢٩٧، ٢٩٨، ٣٠٠، ٣٠٤، ٣١٥
زحف التربة	soil, creep	٢١٢، ٢١٤، ٢١٥
زلازل	earthquakes	٢٨، ١٢٣، ١٢٤، ١٤١، ٢٢٤، ٢٢٨، ٢٤٥، ٢٤٦، ٢٤٧، ٢٤٨، ٢٤٩، ٢٥٣، ٢٥٤، ٢٥٦، ٢٥٧، ٢٥٨، ٢٦٩، ٤١٩، ٤٢٠، ٤٢٥، ٤٢٧، ٤٢٩
زنبقانيات	crinoidea	٣٢٥، ٣٢٦، ٣٢٧
زنك	zinc	٨٧، ٨٩، ٢٧٠، ٢٧٣
زهريات	anthozoa	٣١٧
زواحف	reptilia	٢٩٦، ٣٠٢، ٣٠٦، ٣١٥، ٣١٦، ٣١٧، ٣١٨، ٣٥٣، ٣٥٤، ٣٦٧، ٣٦٨، ٣٨٣، ٣٨٥، ٣٨٦، ٣٨٧، ٣٨٨، ٣٨٩، ٣٩٠، ٣٩١، ٣٩٢، ٣٩٣، ٣٩٥، ٣٩٦، ٣٩٨، ٣٩٩، ٤٠٠، ٤٠٣، ٤٠٤
زواحف تمساحية (فيتوصورات)	phytosaurs	٣٦٨، ٣٨٧، ٣٨٨
زواحف شبيهة الثدييات	therapsids	٣٤٧
زواحف شراعية	pelycosaurs	٣٤٧
زيركون	zircon	٤٧، ٥٠
(س)		
سحج	abrasion	١٦١، ١٦٨، ١٩٣، ١٩٦، ٢٠٤، ٢٠٥، ٢٢٥
سحب سفلي	undertow	٢٢٤، ٢٢٧
سحنة يورديل	Yoredale facies	٢٨٢
سربنتين	serpentine	٦٨، ٧٣
سفاليرايت	sphalerite	٧٦، ٧٩
سلاحف	turtles	٣١٥، ٣٦٦، ٣٨٧، ٣٩٦، ٤٠٣
سليكات	silicates	٤٤، ٤٧، ٦٨، ٧٣، ٨٣، ٩٢
سمك	fish	١٢٠، ٢٩٧، ٢٩٩، ٣٣٠، ٣٣٦، ٣٤٣، ٣٤٧
سمنتة	cementation	١٨٥

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة العربية	باللغة الإنجليزية	
طباشير	chalk	٣٠، ٣٦، ٦٩، ٧١، ٨٠، ١١٧، ١١٩، ١١٥، ١٧٩، ١٨٠، ٢٢٦، ٢٢٧، ٢٦٠، ٢٦٩، ٢٨٤، ٢٨٥، ٢٩٤، ٣٢٩، ٣٣٠، ٣٣٥، ٣٣٩، ٣٤٧، ٣٤٨، ٣٤٩، ٣٠٩، ٣٥٤، ٣٨٨، ٣٩٣، ٣٩٤، ٣٩٥، ٣٩٦، ٣٩٧، ٣٩٨، ٤٠٢، ٤٠٤
طريق لبنى	milky way	٣٥
طَفْلة	shale	١١٣، ١١٤، ١١٥، ١١٦، ١٢٥، ١٢٦، ١٢٩، ١٣٠، ١٥٣، ١٦٠، ١٦٤، ١٦٥، ٢٣٦، ٢٦٦، ٢٦٩، ٣٤٢، ٣٧٣، ٣٧٤، ٣٧٧، ٣٨٠، ٣٨٢، ٣٨٩
طمى	alluvium	٢٣٠، ٢٤١، ٢٦٠
طوبوغرافيا	topography	٤١، ١٤٩، ١٥٠، ١٥١، ١٥٣، ١٧٠، ١٧٤، ١٧٥، ١٧٨، ١٩١، ١٩٧، ٢٢٠، ٢٥٠، ٢٦٥
طوبوغرافية كارست	karst topography	١٨٢
طوفا جيرية	calcareous tufa	١٨٣
طى	folding	١٣٥، ١٣٦، ١٣٧
طية محدبة إقليمية	geanticlines	١٣٥
طية مقعرة	syncline	١٥٠
طيس	loess	٢٠٧، ٢١٠
طيور	aves	٣٢٦، ٣٤٩، ٣٥٠، ٣٥٣
(ظ)		
ظهر الخنزير	hogs back	٣١٦
(ع)		
عديم التبلور	amorphous	٣٣
عديمة الأسنان	edentates	٣٥٥، ٣٥٦
عروق	veins	١٨٥
عقارب بحرية	eurypterids	٣٣١، ٣٣٤
علامات نيم	ripple marks	١٣٣، ٢٠٨
علم الأجنة	embryology	٣١٣
علم الأرصاد الجوية	meteorology	٣٩
علم الشكل	morphology	٣١١

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة العربية	باللغة الإنجليزية	
علم الحفريات	palaeontology	٢٩٥، ٢٩٦، ٣٢١، ٣١٠، ٣١٨
علم الزلازل	seismology	٢٤٦
علم الفلك	astronomy	٣١، ٢٧٩
علم الكون	cosmology	٢٧٩
علم النبات القديم	palaeobotany	٢٩٦
علوم الوراثة	genetics	٣٤٧
عنبر (كهرمان)	amber	٣٠١
عنق البركان	volcanic neck	٩٦، ٢١٣
(غ)		
غثة (ليست اقتصادية)	gangue	١١٥
غلاف جوى	atmosphere	٢٩، ٣٥، ٣٨، ٤١، ١٥٧
غلاف صخرى	lithosphere	٢٨، ٢٩، ٢٥٧
غلاف مائى	hydrosphere	٢٨، ٢٩، ٤١
(ف)		
فتاتى	clastic	١١٢، ١٢٣
فجوات دردورية	kettles	٢٠٠، ٢٠١
فحم	coal	٢٧، ٤٢، ٨٢، ١١٥، ١٢١، ١٢٣، ١٤٤، ٢١٤، ٢٤٤، ٢٦٧، ٢٦٨، ٢٨٨، ٣٠٢، ٣٨٤، ٣٨٥
فرضية التحكم الجليدى	glacial-control hypothesis	٣٣٦
فرضية الغازية	gaseous hypothesis	٢٧٩
فرضية الكويكبات	planetesimal hypothesis	٢٧٨، ٢٧٩
فرضية الهبوط	subsidence hypothesis	٣٣٥
فرضية سديمية	nebular hypothesis	٢٧٧، ٢٨٠، ٢٧٨
فرضية مديّة	tidal hypothesis	٢٧٩
فضة	silver	٤٢، ٤٤، ٤٥، ٥٥، ٨٨، ٥٩، ٧٥، ٧٧، ٧٨، ٨٢، ١٥٥، ١٨٥، ٣٧٠، ٣٧٣، ٣٧٠
فقاريات	vertebrates	٣٠٢، ٣١٠، ٣١٧، ٣٤٣، ٣٥٤، ٣٧٦، ٣٧٨، ٣٧٩، ٣٨١، ٣٨٦، ٣٨٧، ٣٩٥

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة العربية	باللغة الإنجليزية	
فلسبار	feldspar	٤٣، ٥٣، ٦٢، ٦٤، ٦٥، ٦٧، ٧٢
فلسيت	felsite	٨٩
فلوريت	fluorite	٥١، ٥٣، ٥٤، ٧٠
فورامينيفرا	foraminifera	٣١٠، ٣١٤، ٣٨٣، ٣٩٥، ٤٠٢
فيرفير	porphyrite	٧٥
فيورد	fiord	١٩٥، ٣٣٠
(ق)		
قانون تعاقب الطبقات	law of superposition	٣٩٠
قباب	domes	٣١، ٧٣، ١٠٦، ١٣٦، ١٥١، ٢٣٣، ٣٦٤، ٣٦٩
قصدير	tin	٧٨
قفز - وثب	saltation	٢٠٧
قلنسوات جليدية	ice caps	١٩٠
قناطر طبيعية	natural bridges	١٨١، ١٨٢
قنفذيات	echinoidea	٣٣٧، ٣٣٨، ٣٣٩، ٣٦٨، ٣٨٤، ٣٩١، ٣٩٥
قواعد المنصات	pedestals	٢٢٦
قوالب	moulds	٨٣، ١١٦، ٣٠٤، ٣٠٥، ٣٢٥، ٣٣٦
(ك)		
كارنوتيت	carnotite	٨٣، ٢٧٦
كاستيرايت	cassiterite	٧٨
كالسيت	calcite	٤٣، ٤٤، ٤٥، ٥٣، ٥٤، ٥٧، ٦١، ٦٩، ٧٠، ٧١، ٧٢، ٧٣، ٩٠، ١٢٦، ١١٨، ١٢٠، ١٥٠، ١٨٤، ١٨٥، ٣٠١، ٣٠٢، ٣٠٤، ٤٤٥
كالكوبيريت	chalcopyrite	٧٥
كالكوسيت	chalcocite	٧٥
كامات	kames	٢٠٠
كاولين	kaolin	٧٣، ٧٤
كاينوزوى	Cainozoic	٢٨٣، ٢٨٤، ٣٥٤، ٣٥٥، ٣٥٦، ٣٥٧، ٣٥٨، ٣٦٢، ٣٩٩
كبريت	sulphur	٤٥، ٥٨، ٦٠، ٨٠، ٨٢، ٨٤، ٢١٨، ٢٧٢
كتل قارية	continental masses	٣٩، ٤٠، ٤١، ١٢٢، ١٤٤
كثافة نوعية	specific gravity	٥٦

المصطلح: باللغة العربية	المصطلح: باللغة الإنجليزية	رقم الصفحة
ملح	salt	٥٩، ٧١، ٧٢، ٨١، ٨٣، ٨٤، ١١٨، ١٢١، ١٧٥، ١٨٤، ٢١٩، ٢٤٠، ٢٤١، ٢٤٢، ٢٦١، ٢٦٩، ٢٧٢، ٢٧٤، ٢٨٦، ٢٩٧، ٣٠٩، ٣٢٢، ٣٧٨، ٣٨٤، ٣٨٦
مناطق متدرجة	cirques	٢٩٣
منجنيز	manganese	٦٥، ٨١
منصات مقطوعة بالموج	wave-cut benches	١٢٣، ٢٣٦
منطقة عبور	vadose zone	١٧٧
منطقة فرياتية	phreatic zone	١٧٧
منعطفات	meanders	١٦٣، ١٦
مواد ساحجة	abrasives	١٣٠
مواد لاحمة	cements	١٨٥
موزاصورات	mosasaurs	٣٤٧، ٣٩١، ٣٩٧
موناندوك	monadnocks	١٧٤
ميل	dip	٣٧، ٤٩، ٥٠، ٧١، ٧٥، ١٠٦، ١٣٦، ١٣٧، ١٣٨، ١٣٩، ١٦٨، ١٦٩، ٢١٥، ٤٣٤، ٤٤٩
ميوسين	Miocene	٣٦٠، ٣٦١، ٣٩٩، ٤٠٠، ٤٠٥، ٤٠٨
(ن)		
نارى	igneous	٣٩، ٤١، ٦٤، ٦٥، ٦٧، ٧٠، ٧٣، ٧٤، ٧٧، ٧٨، ٧٩، ٨٥، ٨٦، ٨٧، ٨٩، ٩١، ٩٢، ٩٣، ٩٤، ٩٥، ٩٦، ٩٧، ٩٨، ١٠٩، ١١٣، ١٢٢، ١٢٧، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٣، ١٣٤، ١٣٧، ١٤٩، ١٥٣، ١٥٩، ١٦٥، ١٧٦، ١٧٧، ٢٠١، ٢١٢، ٢٦٢، ٢٦٣، ٢٦٤، ٢٦٥، ٢٧٦، ٣٦٠، ٣٩٣، ٣٩٧، ٣٧٠، ٤٠٠، ٤٢٠، ٤٢٣، ٤٣٦
نبات	botany	٢٦٦، ٣٠٧
نبات	plant	٢٧، ٢٩، ٣٦، ٣٤، ٣٣، ١١٧، ١١٨، ١٢١، ١٢٢، ١٣٦، ١٤١، ١٤٧، ١٥٣، ١٥٤، ١٥٧، ١٦١، ١٦٢، ١٧٣، ١٨١، ١٨٦، ١٨٧، ١٨٨، ٢١٥، ٢٢٠، ٢٣٤، ٢٤١، ٢٤٣، ٢٦٨، ٢٧٣، ٢٨٤، ٢٨٩، ٢٩٥، ٢٩٦، ٢٩٧، ٢٩٩، ٣٠٠، ٣٠٣، ٣٠٤، ٣٠٦، ٣٠٧، ٣١٠
نبات طحلبى (بريوفيتا)	bryophyta	٣١٣
نباتات برمائية	tracheophyta	٣١٣

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	رقم الصفحة
نباتات جنينية	embryophyta	٣١٣
نتوء صخرى	aretes	٥٨
نجو متحجر	coprolites	٣٠٦
نحاس	copper	٤٥، ٥٢، ٥٨، ٥٩، ٧٤، ٧٥، ٧٦، ٧٧، ٧٨، ٧٩، ٨٠، ٨٢، ٨٥، ٩١، ١٨٥، ٢٧٠، ٢٧٣، ٣٧٠
نرجيل صخرى - جيودات	geodes	١٢٥
نسيج	texture	٨٢، ١٣٣
نصف حبليات	hemichordata	٣١٠
نطاق بنيوف	Benioff zone	٤١٩
نظام دليل ميلر	Miller index system	٥٠
نظرية الارتداد المرن	elastic rebound theory	٢١٦
نظرية الانجراف القارى	continental drift theory	١٤٢
نظرية الانكماش	contraction theory	١٤٢
نظرية الحمل الحراري	convection theory	١٤٢
نفريت	nephrite	٦٩
نوتيليات	nautiloidea	٢٢٧، ٢٢٨
نيازك	meteorites	٨٠، ٢٤١
نيس	gneiss	١٣٠، ١٣١
نيكل	nickel	٨٠، ١٩٨، ٢٧٠، ٣٧٠
(هـ)		
هاليت	halite	٤٧، ٥٩، ٦١، ٧١، ٨٣، ١٢١
هبوط	slump	١٣٣، ١٣٤، ١٤١، ١٦٤، ٢٠٢، ٢٠٧، ٢٣٠، ٢٣٣، ٢٣٨، ٢٤٨، ٢٦١، ٢٧٤
هدم	degradation	٤٠، ٤١، ١٣٣
هدم وبناء	gradation	٤١، ١٣٣
هضاب	plateaus	١٠٣، ١٠٥، ٢٢٠، ٢٥٩، ٢٦١، ٢٦٢، ٢٦٥
هضاب شديدة الانحدار	buttes	٢٦٥، ٢٦٦
هضبة صغيرة منعزلة	mesas	٢٦٥، ٢٦٦
هوابط	stalactites	١٢٠، ١٤٩، ١٨٤

فهرس Index

لمصطلحات الجيولوجيا (باللغة الإنجليزية)

رقم الصفحة	المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية
٢٧، ٤٣، ٨٢، ١١٥، ١٢١، ١٣٢، ١٤٤، ٢١٤، ٢٤٤، ٢٦٧، ٢٦٨، ٢٨٩، ٣٠٣، ٣٨٤، ٣٨٥	فحم	coal
٨٠، ٢٧٠	كوبلت	cobalt
١٩٣	مضيق بين قمتين	col
٣٣٠	كوليات	coleoidea
٣٥	مذنبات	comets
١٢٥، ١٥١، ١٨٥	درنات صخرية	concretions
١٤٢	نظرية الحمل الحراري	convection theory
١١٤، ١١٧، ١٢٣، ٣٧٢	كونجلوميرات	conglomerate
١٣٦	ماء محبوس	connate water
٣٤٤	كونودونتات	conodonts
٤٢٥	حدود محافظة	conservative boundaries
٤٢٤	حدود بنائية	constructive boundaries
١٤٢، ١٤٣، ٤١٥، ٤١٦، ٤١٨، ٤٢٩	انجراف قاري	continental drift
١٤٢	نظرية الانجراف القاري	continental drift theory
٣٩، ٤٠، ٤١، ١٢٣، ١٤١	كتل قارية	continental masses
٢٢٠، ٢٢١	رف قاري	continental shelf
١٤٢	نظرية الانكماش	contraction theory
٣٨٨، ٤٢٤	متلاقي	convergent
٤٥، ٥٢، ٥٨، ٥٩، ٧٤، ٧٥، ٧٦، ٧٧، ٧٨، ٧٩، ٨٠، ٨٢، ٨٥، ٩١، ١٨٥، ٢٧٠، ٢٧٢، ٣٧٠	نحاس	copper
٣٠٦	لجو متحجر	coprolites
٢٧، ٣١، ٦٩، ٧١، ١٢٠، ٢٣١، ٢٣٣، ٢٣٤، ٢٣٥	شعاب مرجانية	coral reefs
٢٣٠، ٢٣٤، ٣٠١، ٣٠٩، ٣١٤، ٣١٦، ٣١٧، ٣١٨، ٣١٩، ٣٧٥، ٣٧٨، ٣٨٠، ٣٨١، ٣٨٢، ٣٨٣، ٣٨٤، ٣٨٧، ٣٩٠، ٣٩٤، ٤٠٠، ٤٠٢	مراجين	corals
٢٧، ٤٢، ١٠٨، ١٢٧، ٢٥٤، ٢٥٧، ٤١٧، ٤٢٣، ٤٢٨	باطن	core
٢٩١، ٣٠٩، ٣٤٢	مضاهاة	correlation
١٦١	تآكل	corrosion
٣٧٩	علم الكون	cosmology

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة الإنجليزية	باللغة العربية	
cotylosaurs	كوتيلصورات	٣٤٦
coves	تجاويف	٢٢٢
crag-and-tail	أحدور وذيل	٢٠١
Cretaceous Period	دور الطباشيرى	١١٧، ١١٩، ٢٤٩، ٣٢٩، ٣٣٠، ٣٣٦، ٣٤٦، ٣٤٧، ٣٤٩، ٣٥٣، ٣٥٤، ٣٨٨، ٣٨٩، ٣٩٣، ٣٩٤، ٣٩٧، ٣٩٨، ٤٠٤
crevasses	شق عميق	١٩٢
crinoidea	زنبقانيات	٣٣٥، ٣٣٦، ٣٣٧
crocodiles	تماسيح	٣١٨، ٣٨٨، ٤٠٣
crustal movements	حركات قشرية	١٣٣، ١٤١، ٢٢٨، ٢٤٥
crystals	بلورات	٤٦، ٤٧، ٤٨، ٤٩، ٥٠، ٥١، ٥٥، ٥٦، ٥٧، ٦١، ٦٢، ٦٥، ٦٦، ٦٧، ٦٨، ٦٩، ٧٠، ٧٣، ٧٥، ٧٨، ٨٣، ٨٤، ٨٦، ٨٧، ٨٩، ٩٠، ٩١، ٩٢، ٩٣، ١٢٥، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٠، ١٨٥
cuesta	كويستا	٣٦٦
currents	تيارات	١٢٠، ١٢٤، ١٤٢، ١٦٢، ١٦٥، ٢٠٧، ٢٢١، ٢٢٣، ٢٢٤، ٢٢٥، ٢٢٧، ٢٤٠
cystoidea	كيسيات	٣٣٥
- D -		
Dalradian	دلرادى	٣٧٣
deflation	تذرية	٢٠٤، ٢٠٥
deformation	تحرف	٤٢، ١٠٨، ١٢٧، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٣، ١٣٤
degradation	هدم	٤٠، ٤١، ١٣٣
deltas	دلتات	١١٦، ١٢٤، ١٢٩، ٢١٠، ٢٣٦، ٢٤٠
deposition	ترسيب	١١٦، ١٢٥، ١٤٤، ١٧٧، ١٨١، ١٨٣، ١٨٤، ١٩٢، ٢٠٧، ٢٠٨، ٢٢٣، ٢٢٥، ٢٢٨، ٢٣٣، ٢٣٤، ٢٤٠، ٢٤٣، ٢٧٦، ٢٨٦، ٢٩١، ٢٩٣، ٢٩٤، ٣٠٢، ٣١٩، ٣٧٠، ٣٨٢، ٣٨٣، ٣٩٠، ٣٩٤، ٤٣٦
destructive boundaries	حدود هدامة	٤١، ٤٢، ١٧٤
Devonian period	دور الديفونى	١٦٩، ٢٨١، ٢٨٣، ٢٨٤، ٣٣٤، ٣٤٠، ٣٤٢، ٣٤٤، ٣٤٥، ٣٧٩، ٣٨٠
diaphaneity	شفافية	٦٠، ٦١
diastrophism	تهشم	٣٠٣

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة الإنجليزية	باللغة العربية	
haematite	هيماتيت	٣٦
halite	هاليت	٤٧، ٥٩، ٦١، ٧٦، ٨٣، ١٩١
hanging wall	جدار معلق	١٢٨، ١٣٩
Heidelberg Man	إنسان هايدلبرج	٤١٩
hemichordata	نصف حبليات	٣٤٠
hogs back	ظهر الخنزير	٣٣٦
holothuroidea	طائفة الخيارات	٣٣٧، ٣٣٩
hornblende	هورنبلند	٦٨
horst	صدع بارز (نتوء)	١٤٠، ١٤١
hydration	تموه (هدرتة)	١٤٧، ١٤٨
hydraulic plucking	اقتلاع بالماء	١٦٣
hydrologic cycle	دورة هدرولوجية	١٥٧، ١٧٦
hydrosphere	غلاف مائي	٣٨، ٣٩، ٤١
- I -		
ice caps	قلنسوات جليدية	١٩٠
ice sheets	شراشف جليدية	٨٩، ١٩٠، ١٩٥، ١٩٦، ١٩٧، ١٩٨، ١٩٩
icebergs	جبال جليد طافية	١٩٣
Ichthyosaurs	إكثيصورات	٢٨٨، ٢٩٢، ٢٩٦، ٣٩٧
igneous	نارى	٣٦، ٤١، ٦٤، ٦٥، ٦٧، ٧٠، ٧٣، ٧٤، ٧٧، ٧٨، ٧٩، ٨٥، ٨٦، ٨٧، ٨٩، ٩١، ٩٢، ٩٣، ٩٤، ٩٥، ٩٦، ٩٧، ٩٨، ١٠٩، ١١٣، ١٢٢، ١٢٧، ١٢٨، ١٢٩، ١٣١، ١٣٤، ١٣٧، ١٤٩، ١٥٣، ١٥٩، ١٦٥، ١٧٦، ١٧٧، ٢٠١، ٢٤٢، ٢٦٢، ٢٦٣، ٢٦٤، ٢٦٥، ٢٧١، ٢٩٠، ٢٩٣، ٢٩٧، ٣٧٠، ٤٠٠، ٤٢٠، ٤٣٣، ٤٣٦
iron	حديد	٣٧، ٤٥، ٦١، ٦٢، ٦٥، ٦٧، ٦٨، ٦٩، ٧٣، ٧٥، ٧٩، ٨٠، ٩٣، ١١٦، ١١٧، ١١٩، ١٢٢، ١٤٧، ١٤٨، ١٥٤، ١٥٥، ٢٠٥، ٢٥٨، ٢٧٠، ٢٧١، ٣٠٤، ٣٧٠، ٣٨٩، ٣٩٣، ٤٢٠، ٤٢٨
isostasy	توازن (أيزوستاسية)	١٤٣، ١٤٤
- J -		
Jadeite	جاديت	٦٨

رقم الصفحة	المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية
٣١٥، ٣١٦	هضبة صغيرة منعزلة	mesas
٢٨٤، ٣١٩، ٣٢٥، ٣٢٦، ٣٢٩، ٣٣٠، ٣٣٥، ٣٤٤، ٣٤٨، ٣٤٩، ٣٥٤، ٣٨٥، ٣٩٥، ٤٠٢، ٤٠٣، ٤٢٢	حقب الميزوزوى	Mesozoic Era
٣٩، ٤٢، ٦٤، ٦٥، ٦٧، ٦٨، ٦٩، ٧٣، ٧٧، ٧٩، ٨٥، ٨٧، ١١٣، ١١٧، ١٢١، ١٢٢، ١٢٧، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٠، ١٣١، ١٣٣، ١٤٤	متحول	metamorphic
٨٠، ٢٤١	نيازك	meteorites
٢٩	علم الأرصاد الجوية	meteorology
٣٥	شهب	meteors
٣٢٢، ٤١٧، ٤١٨، ٤١٩، ٤٢١، ٤٢٣، ٤٢٤، ٤٣٦	حيود وسط المحيط	mid- ocean ridges
٣٥	طريق لبنى	milky way
٥٠	نظام دليل ميلر	Miller index system
٢٨١، ٢٨٢، ٢٨٩	جريت حجر الطاحون	millstone grit
٢٨، ٣٠، ٣٢، ٣٣، ٣٩، ٤٣، ٤٤، ٤٥، ٤٦، ٤٧، ٥٠، ٥١، ٥٢، ٥٣، ٥٤، ٥٥، ٥٦، ٥٧، ٥٨، ٥٩، ٦٠، ٦١، ٦٢، ٦٣، ٦٤، ٦٥، ٦٦، ٦٨، ٦٩، ٧٠، ٧٢، ٧٣، ٧٤، ٧٥، ٧٨، ٧٩، ٨٢، ٨٣، ٨٤، ٨٥، ٨٦، ٨٧، ٨٨، ٨٩، ٩٠، ٩٢، ٩٣، ١١٦، ١٢٢، ١٢٦، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٠، ١٣٦، ١٤٧، ١٤٨، ١٦٢، ١٨٥، ٢١٠، ٢٦٧، ٢٧٠، ٢٧٦، ٢٧٣، ٢٨٢، ٢٩٢، ٣٠٢، ٣٠٤، ٤٢٠، ٤٤٥، ٤٤٦، ٤٤٧، ٤٤٩، ٤٥٠، ٤٥١	معادن	minerals
٣٦٠، ٣٦١، ٣٩٩، ٤٠٠، ٤٠٥، ٤٠٨	ميوسين	Miocene
٢٨١	دور مسيسبى	Mississippian Period
٢٥٦	مقياس ميركالى المعدل	modified Mercalli' scale
٢٥٨	انقطاع موهورفيشيك	Mohorovicic discontinuity
٥٢، ٥٣، ٥٩	مقياس موهس للصلابة	Mohs scale of hardness
١٧٤	موناندوك	monadnocks
٤٩، ٥٠، ٧١، ٧٥، ١٣٦	أحادى الميل	monocline
٣٥٤، ٣٩٥، ٣٩٨	ثدييات أحادية المسلك	monotremes
١٩٧، ١٩٨	ركام الثالج	moraine

رقم الصفحة	المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية
٢٨١	بلاكودرمي	placodermi
٦٢، ٦٤، ٦٥، ٨٧، ٩٠	بلاجيوكليز	plagioclase
١٠٣، ١٠٥، ١٦٩، ١٧٠، ١٧١، ١٧٢، ١٧٣، ١٩٠، ٢٠٧، ٢١٠، ٢٢١، ٢٣١، ٢٣٣، ٢٤٠، ٢٤٣، ٢٥٩، ٢٦٠، ٢٦١	سهول	plains
٢٧٨، ٢٧٩	فرضية الكويكبات	planetesimal hypothesis
٢٧، ٢٩، ٣١، ٣٤، ٨٣، ١١٧، ١١٨، ١٢١، ١٢٢، ١٣٦، ١٤١، ١٤٧، ١٥٣، ١٥٤، ١٥٧، ١٦١، ١٦٢، ١٦٣، ١٨١، ١٨٦، ١٨٧، ١٨٨، ٢١٥، ٢٢٠، ٢٣٤، ٢٤١، ٢٤٣، ٢٦٨، ٢٧٣، ٢٨٤، ٢٨٩، ٢٩٥، ٢٩٦، ٢٩٧، ٢٩٩، ٣٠٠، ٣٠٣، ٣٠٤، ٣٠٦، ٣٠٧، ٣١٠	نبات	plant
٨٣	جبس (بلاستر)	plasters
١٠٣، ١٠٥، ٢٢٠، ٢٥٩، ٢٦١، ٢٦٢، ٢٦٥	هضاب	plateaus
١٨٧، ٢٥٥، ٢٥٦، ٢٥٨، ٢٦٠، ٢٦١	بليستوسين	Pleistocene
٢٤٧، ٢٨٨، ٢٩٢، ٢٩٦، ٢٩٧	بليزيوصورات	plesiosaurs
٢٥٥، ٤٠٥، ٤٠١، ٤٠٦	بليوسين	Pliocene
١٩٣	حرث	ploughing
١٦٢، ١٩٣، ١٩٥	اقتلاع	plucking
٣١٥	مساميات	porifera
٧٥	فيرفير	porphyrite
٢٤٣، ٢٦٢، ٢٦٦، ٢٦٦، ٢٦٩، ٢٧٠، ٢٧١، ٢٧٢	حقب ماقبل الكمبرى	Pre-Cambrian Era
٣٠٨، ٣٦٢، ٤٠٧	رئيسيات	primates
٢٦٩، ٢٧٠	حقب البروتيروزوى	Proterozoic Era
٢٦٧، ٢٧٤، ٢٧٥	بروتوزوا	protozoa
٢٩١، ٢٩٨	بتيروصورات	pterosaurs
٨٩، ٩١، ٩٢، ١١٢	حجر خفاف (نشف)	pumice
٥٤، ٥٩، ٦٠، ٦٢، ٧٥، ٧٦، ٨٠	بيريت	pyrite
٦٨، ٨٨، ٩٠، ٩٤	بيروكسين	pyroxene
		- Q -
١٦٢، ١٩٣، ١٩٥	تحجير (اقتلاع)	quarrying
٨٧، ٨٨، ١١٧	كوارتز	quartz

المصطلح		رقم الصفحة
باللغة الإنجليزية	باللغة العربية	
Tertiary Period	دور الثلاثى	٩٧، ٩٨، ٢٨٤، ٣٤٨، ٣٥٤، ٣٦٠، ٣٦٢، ٣٩٩، ٤٠٠، ٤٠١، ٤٠٢، ٤٠٣، ٤٠٤، ٤٠٦، ٤٠٨
tetrapoda	رباعية الأقدام	٣٤٥
texture	نسيج	٩٢، ١١٣
thallophyta	ثالوسيات	٣١٢، ٣١٣
therapsids	زواحف شبيهة الثدييات	٣٤٧
tidal hypothesis	فرضية مدّية	٣٧٩
tide	مد	٣٧٣
till	حريث	١١٨، ١٩٧، ١٩٨
tin	قصدير	٩٨
tombolos	تومبولات	٢٢٩، ٢٣٠، ٢٣١
topography	طوبوغرافيا	٤١، ١٤٩، ١٥٠، ١٥١، ١٥٣، ١٧٠، ١٧٤، ١٧٥، ١٧٨، ١٩١، ١٩٧، ٢٢٠، ٢٥٠، ٣٦٥
torridonian	توريدونى	٣٧١، ٣٧٣
tourmaline	تورمالين	٥٩، ٦٤، ٧٨
tracheophyta	نباتات برمائية	٣٣٣
transform faults	صدوع محولّة	٤٢٥، ٤٢٦
transparency	شفافية	٦٠
travertine	ترافرتين	١٢٠، ١٥٣، ١٨٣، ١٨٤
tremolite	تريموليت	٦٨، ٨٣
trenches	أخاديد عميقة (خنادق)	٢٢٢، ٤١٩، ٤٢٠، ٤٢٥، ٤٢٦
Triassic Period	دور الترياسى	١١٨، ٣١١، ٣١٧، ٣٢٩، ٣٤٦، ٣٤٧، ٣٤٨، ٣٤٩، ٣٨٤، ٣٨٥، ٣٨٦، ٣٨٧، ٤٢٦
trilobites	ترايلوبيتات	٢٦٦، ٣٣١، ٣٣٣، ٣٣٤، ٣٧١، ٣٧٣، ٣٧٤، ٣٧٥، ٣٧٨، ٣٨٠، ٣٨٤، ٣٨٨، ٣٩١
tsunami	تسونامى	٢٣٥، ٢٤٩، ٢٥١، ٢٥٢
tundra	تندرا	٣٠٠، ٣٦١
turtles	سلاحف	٣٤٥، ٣٤٦، ٣٨٧، ٣٩٦، ٤٠٣
twins	توائم	٦٣

رقم الصفحة	المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية
	- Y -	
٢٨٧	سحنة يورديل	Yoredale facies
	- Z -	
٧٧، ٧٩، ٢٧٠، ٢٧٣	زنك	zinc
٤٧، ٥٠	زيركون	zircon

المراجع

REFERENCES

مراجع الكتاب ومراجع أخرى للمزيد من الاطلاع

١- مقدمات Introductory Texts

Age, D. V., **Introducing Geology**. Faber & Faber: London, 1961.

Bradshaw, M. J., **A New Geology**. English Universities Press: London 1968.

Cox, Barry, **Prehistoric Animals**. Paul Hamlyn: London, 1969.

Day, Michael, **Fossil Man**. Paul Hamlyn: London, 1969.

Evans, I. O., **The Observer's** Book of Geology. Frederick Warne: London, 1957.

Haywood, Helen, **The Days of the Dinosaurs**. Odhams Books: London, 1964.

Matthews, W. H., **Exploring the World of Fossils**. Children's Press: Chicago, 1964.

Read, H. H., and Watson, J., **Beginning Geology** . Alien & Unwin: London, 1966.

Rhodes, H. T., Zim, H. S., and Shaffer, P. R., **Fossils**. Paul Hamlyn : London, 1965.

Trent, C., **Exploring the Rocks**. Phoenix House: London, 1957.

Zim, H. S., and Shaffer, P. R, **Rocks and Minerals**. Paul Hamlyn: London , 1965.

GENERAL REFERENCES ٢-مراجع عامة

Adam, F. 0., **The Birth and Development of the Geological Sciences.** Constable: London, 1954.

Adams, W. M., **Earthquakes**. Heath: London, 1964.

Bennison, G. M., and Wright, A. E., **The Geological History of the British Isles**. Edward Arnold: London, 1969.

Carrington, R., A Guide to **Earth History**. Chatto & Windus: London, 1956.

Fletcher, 0. L., and Wolfe, C.W., **Earth Science**. Heath: London, 1959.

Gass, I. G., **et al. Understanding the Earth**. Artemis Press (Open University textbook): Horsham, 1972.

Himus, G. W., and Sweeting, G. S., **The Elements of Field Geology**.

University Tutorial Press: London, 1965.

Holmes, A., **Principles of Physical Geology**. Nelson: London, 1959.

Johnson, G., **Earthquakes and Volcanoes**. Lindsey Drummond: London, 1938.

Kirkaldy, J. F., **General Principles of Geology**. Hutchinson: London, 1958.

Kummel, B., **History of the Earth**. Freeman (British Regional Geology Handbooks, HMSO): London, 1970.

Miller, T. G., **Geology and Scenery in Britain**. Batsford: London, 1953.

Stamp, L. Dudley, **Britain's Structure and Scenery**. Couins (New Naturalistn Series and Fontana Books) : London, 1962 .

Tank, R. W., **Focus on Environmental Geology**. Oxford University Press:Oxford and London, 1973.

Tarzieff, H., **Volcanoes**. Prentice-Hall: London, 1962.

Trueman, A. E., **Geology and Scenery in England and Wales**.Penguin Books:Harmondsworth, Middlesex, 1963.

Wells, A. K., **Outline of Historical Geology**. Thomas Murby: London , 1960.

Complete Atlas of the British Isles. Readers' Digest: London, 1965.

The Earth. Time-Life International: New York, 1964.

٣-مراجع فى علم الخرائط Mapping

Bradshaw, M. J., and Jarman, E. A., **Geological Map Exercises**. English Universities Press: London, 1969.

Bradshaw, M. J., and Jarman, B. A., **Reading Geological Maps**. English Universities Press: London, 1969.

٤-مراجع فى علم المعادن Mineralogy

Cox, K. G., Price, B. N_ and Harte, B., **Crystals, Minerals and Rocks**. McOraw-Hill: New York, 1969.

Kerr, P. F., **Optical Mineralogy**. McGraw-Hill: London, 1959.

Rutley, P., and Read, H. H., **Elements of Mineralogy**, 24th edn. Thomas. Murby: London, 1960.

Smith, H. G., and Wells, M. K., **Minerals and the Microscope**. Thomas Murby: London, 1957.

٥- مراجع في علم الحفريات Palaeontology

Andrew, R. C., **All About Dinosaurs.** W. H. Alien: London, 1959.

Beerbower, J. R., **Search for the Past. Prentice-Hall**: New York, 1960.

Black, R. M., **The Elements of Palaeontology.** Cambridge University Press: London, 1970.

Casanova, R ., **Fossil Collecting,** Faber &Faber: London, 1960.

Eastern, W. H., **invertebrate Palaeontology.** Harper Brothers: New York,1960.

Davies, A. M., **An Introduction to Palaeontology**. Thomas Murby: London,1961.

Matthews, W. H., **Wonders of the Dinosaur World**. Dodd, Mead: New York, 1963.

Rhodes, F. H. T., **The Evolution of Life,** Penguin Books: Harmondsworth, Middlesex, 1963.

Swinnerton, H. H. **Fossils**. Collins: London, 1960.

Woods, H., **Palaeontology**. Cambridge University Press: London, 1963.

٦- مراجع فى علم الصخور Petrology

Harker, A., **Petrology for Students.** Cambridge University Press: London,1960.

Hatch, F. H., and Rastall, R. H., **The Petrology of the Sedimentary Rocks.** Alien & Unwin: London, 1965.

Hatch, F. H., Wells, A. K_ and Wells, M. K., **The Petrology of the igneous Rocks**. Thomas Murby: London, 1961.

٧- مراجع فى الألواح التكتونية Tectonic Plates

Calder, N., Restless Earth. BBC: London, 1972.

Runcorn, S. K., and Tarling, D. H., and others. **Continental Drift, Sea**

Floor Spreading and Plate Tectonics: Implications to the Earth Sciences. Academic Press: London, 1962.

Tarling, D. H. and M. P., **Continental Drift.** Penguin Books: Haimonds-worth, 1973.

Various, **Continents Adrift.** W. H. Freeman: Reading, 1972.

Various, **Understanding the Earth.** Open University Press, 1972.

Vine, F. J., and Hess, H. H., **Sea-Floor Spreading in 'The Sea'** (Vol4).

Wiley Interscience: New York, 1970.

٨- موضوعات مرتبطة بالجيولوجيا Allied Subjects

Barrass, R., **Modern Biology Made Simple**. Heinemann: London, 1982.

Bryant, R. H., **Physical Geography Made Simple**. Heinemann: London, 1982.

Hess, F. C., and Holden, J. B., **Chemistry Made Simple**. Heinemann: London, 1982 .

Lewis, J., **Anthropology Made Simple**. Heinemann: London, 1982.

Skinner, B. J., **Earth Resources**. Prentice-Hall: New Jersey, 1970.

٩- كتب أصدرها المتحف البريطاني
Handbooks published by the British Museum, London

Brothwell, D. R., **Digging up Bones**.

Cole, Sonia, **The Neolithic Revolution**.

Le Gros-Clark, Sir W., **Fossil Amphibians and Reptiles** (1962).

Oakley, K. P., **Man the Toolmaker**.

Oakley, K. P., and Muir-Wood, Helen, **The Succession of Life through Geological Time** (1962).

Swinton, W. E., **Dinosaurs** (1962).

Swinton, W. E. ,**Fossil Amphibians and Reptiles** (1962).

Swinton, W. E., **Fossil Birds** (1950).

British Caenozoic Fossils (1963).

British Mesozoic Fossils (1962).

British Palaeozoic Fossils (1963)

١٠- كتب إقليمية أصدرتها مكتبة جلالة الملكة

Regional Handbooks published by Her Majesty's Stationery Office, London

Northern England (1953).

London and Thames Valley (1961).

Central England District (1947).

East Yorkshire and Lincolnshire (1948).

The Wealden District (1954).

The Welsh Borderland (1956).

South-West England (1948).

Hampshire Basin and Adjoining Areas (1961).

East Anglia and Adjoining Areas (1962).

South Wales (1948).

North Wales (1960).

The Pennines and Adjacent Areas (1945).

Bristol and Gloucester District (1948).

Grampian Highlands (1948).

Northern Highlands (1960).

South of Scotland (1948).

Midland Valley of Scotland (1948).

Tertiary Volcanic Districts (1960).

صدر من سلسلة المراجع الأساسية :

(١) البصريات.	أ.د. أحمد فؤاد باشا
	أ.د. شريف أحمد خيرى
(٢) مبادئ الكيمياء العملية التحليلية والعضوية وغير العضوية.	أ.د. أحمد مدحت إسلام.
	أ.د. السيد على حسن
(٣) أسس الكيمياء العضوية الأروماتية.	أ.د. أحمد مدحت إسلام.
(٤) أسس الكيمياء العضوية الأليفاتية.	أ.د. أحمد مدحت إسلام.
(٥) فيزياء الجوامد.	أ.د. محمد أمين سليمان.
	أ.د. أحمد فؤاد باشا
	أ.د. شريف أحمد خيرى.
(٦) أسس الكيمياء الفيزيائية.	أ.د. أحمد مدحت إسلام.
(طبعة جديدة مزيدة ومنقحة)	أ.د. مصطفى عمارة.
(٧) أسس الكيمياء العامة وغير العضوية.	أ.د. أحمد مدحت إسلام.
	أ.د. مصطفى عمارة
(٨) علم الفلك العام.	أ.د. مرفت السيد عوض.
	أ.د. مصطفى كمال محمود.
(٩) أسس علم الميكانيكا.	أ.د. عبد الشافى فهمى عبادة.
(طبعة جديدة مزيدة ومنقحة)	أ.د. على محمد أبو ستة.
	أ.د. أحمد بدر الدين خليل
	أ.د. عبدالرحمن السمان.
(١٠) العلوم الجوية وتطبيقاتها «التنمية باستخدام الأرصاد الجوية».	أ.د. محمد الشهاوى.
(١١) علم البيئة العام والتنوع البيولوجى.	أ.د. على على المرسى.
	أ.د. محمد محمد الشاذلى.
(١٢) أساسيات علم النبات العام: الشكل الظاهرى والتركيب التشريحى - تقسيم المملكة النباتية وظائف أعضاء النبات.	أ.د. الإمام عبده قية.
	أ.د. محمود جبر
	أ.د. إسماعيل كامل.
	أ.د. عفت فهمى شبانة.
(١٣) أسس علم الرياضيات [التفاضل والتكامل].	أ.د. حسن مصطفى العويضى.
	أ.د. عبد الشافى فهمى عبادة.
	أ.د. محمد طلعت عبد الناصر.

(١٤) الفيزياء النووية.	أ.د. أحمد السعيد الناغى.
(طبعة جديدة مزيدة ومنقحة).	أ.د. محمد نبيل يس البكرى
(١٥) الفيزياء الحيوية.	أ.د. أحمد فؤاد باشا أ.د. فوزى حامد عبد القادر أ.د. السيد عوض جعفر
(١٦) أشباه الموصلات.	أ.د. شريف أحمد خيرى أ.د. حسن حسين حسن
(١٧) مبادئ الكيمياء النووية.	أ.د. عبد الحكيم طه قنديل
(١٨) النسبية وقوى الطبيعة.	أ.د. محمد نبيل ياسين البكرى أ.د. خالد على كماخى
(١٩) كيمياء عناصر الوقود النووى.	أ.د. عبد الحكيم طه قنديل
(٢٠) تقنيات القرن ٢١ لتحسين النباتات باستخدام زراعة الأنسجة.	أ.د. عبد الرحيم توفيق الناغى أ.د. سمير عبد الرازق الشوبكى
(٢١) أساسيات علم الحيوان.	أ.د. محمد إسماعيل، أ.د. منى شرقاوى على، أ.د. تغريد عبد الرحمن حسن، أ.د. حلمى بشاى، أ.د. يحيى السيد العاصى
(٢٢) أساسيات العلوم الفيزيائية.	أ.د. أحمد فؤاد باشا أ.د. فوزى حامد عبد القادر أ.د. شريف أحمد خيرى أ.د. محمد نبيل يس البكرى
(٢٣) أساسيات علم الحشرات.	أ.د. على على المرسى. أ.د. محمد الشاذلى
(٢٤) أسس الكيمياء التحليلية غير الآلية والآلية.	أ.د. أحمد مدحت إسلام أ.د. مصطفى عمارة
(٢٥) الهندسة التحليلية المستوية والفراغية.	أ.د. عبدالشافى فهمى عبادة أ.د. حسن العويضى مصطفى
(٢٦) ميكانيكا الكم.	أ.د. محمد نبيل يس البكرى أ.د. صلاح الدين نبيل يس البكرى
(٢٧) علم البلورات والأشعة السينية.	أ.د. نعيمة عبد القادر أحمد أ.د. محمد أمين سليمان
(٢٨) الجيولوجيا الفيزيقية والتاريخية.	أ.د. حافظ شمس الدين عبد الوهاب